



А С МОРГУЛЕВ, Е К СОНИН

полупроводниковые системы зажигания



МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

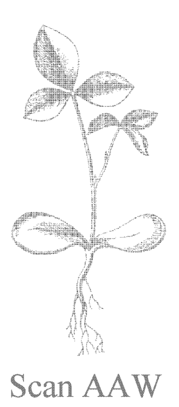
Выпуск 804

А. С. МОРГУЛЕВ, Е. К. СОНИН

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

Издание второе,

переработанное и дополненное





МОСКВА·«ЭНЕРГИЯ» 1972

6Ф0.3
М79
УДК 621.43.044.78

Моргулев А. С. и Сонин Е. К.

М79 Полупроводниковые системы зажигания, изд. 2-е, пер. и доп. М., «Энергия», 1972.
80 с. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 804)

Описаны электронные устройства на транзисторах и тиристорах, позволяющие улучшить эксплуатационные характеристики двигателя автомобиля, мотоцикла или катера и их систем зажигания Приведены также схемы электронных приборов, применение которых упрощает обслуживание и регулировку систем зажигания.
Книга рассчитана на радиолюбителей-конструкторов.

3-4-5
362-72

6Ф0.3

Александр Сергеевич Моргулев
Евгений Константинович Сонин

Полупроводниковые системы зажигания

Редактор А. А. Бурачков
Редактор издательства Т. В. Жукова
Обложка художника А. А. Иванова
Технический редактор Л. В. Иванова
Корректор Е. Х. Горбунова

Сдано в набор 7/X 1971 г. Подписано к печати 21/IV 1972 г. Т-06778
Формат 84×108[1]/[32] Бумага типографская № 2 Усл. печ. л. 4,2
Уч.-изд. л. 5,66 Тираж 70 000 экз. Зак. 1224 Цена 23 коп.

Издательство «Энергия». Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Владимирская типография Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР
Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б.

ВВЕДЕНИЕ

Практически во всех современных карбюраторных двигателях внутреннего сгорания для воспламенения рабочей смеси в цилиндрах используется высоковольтный искровой разряд, который происходит между электродами свечи в камере сгорания двигателя вследствие работы системы зажигания. Система зажигания автомобильных двигателей такого типа предназначена для генерации импульсов высокого напряжения, образующих искру, синхронизации этих импульсов с фазой работы двигателя и распределения импульсов по цилиндрам двигателя. Обычно все эти функции выполняются электромеханической системой, которую, как правило, называют классической системой зажигания. Схема электромеханической системы зажигания приведена на рис. 1: *Б* — источник тока, аккумуляторная батарея; *Вк* — выключатель цепи питания системы зажигания, обычно называемый замком зажигания; $R_д$ — вариатор, являющийся балластным резистором, сопротивление которого изменяется прямо пропорционально среднему значению тока первичной цепи; *Тр* — катушка зажигания, выполняющая функции накопителя энергии и преобразователя низкого напряжения в высокое; *К* — контактный прерыватель тока, специальным кулачком синхронизируемый с валом двигателя; C_1 — искрогасящий конденсатор; C_2 — емкость вторичной цепи, образованная емкостью проводов высокого напряжения и витков вторичной обмотки катушки зажигания *Тр*; $R_ш$ — шунтирующее сопротивление, образующееся за счет несовершенства изоляции во вторичной цепи и нагара на свечах; $P_п$ — распределитель импульсов высокого напряжения по соответствующим цилиндрам двигателя; $C_в$ — запальные свечи, формирующие в воздушном зазоре искровой разряд для зажигания горючей смеси.

При замыкании первичной цепи зажигания выключателем *Вк* (момент *0* на рис 2) ток от батареи *Б* протекает через вариатор $R_д$, первичную обмотку катушки зажигания *Тр* и замкнутые контакты прерывателя *К*. Протекающий по первичной обмотке катушки зажигания ток создает вокруг ее витков нарастающий по величине магнитный поток, который в свою очередь пересекает витки первичной обмотки, вследствие чего в ней возникает э д. с. самоиндукции, направленная против тока первичной цепи и, следовательно, замедляющая его нарастание (кривая *1* на рис 2). Ток в первичной цепи достигает максимального значения за несколько миллисекунд. Его величина может быть определена из соотношения

$$I_{макс} = \frac{E}{r_к + R_д} = \frac{E}{R},$$

где $I_{макс}$ — максимальный ток в первичной цепи; E — напряжение батареи; $r_к$ — активное сопротивление первичной обмотки катушки

зажигания, $R_д$ — сопротивление вариатора; R — суммарное сопротивление первичной цепи.

Обычно величина максимального тока первичной цепи составляет около 4 *а*. При этом в катушке накапливается энергия магнитного поля, величина которой определяется параметрами первичной цепи:

$$W_L = \frac{LI^2_{\text{макс}}}{2},$$

где W_L — энергия магнитного поля; L — индуктивность первичной обмотки катушки зажигания.

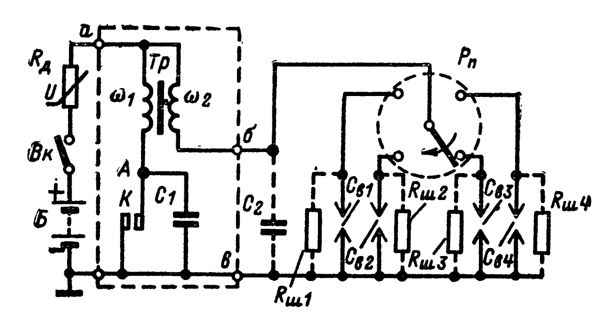


Рис. 1. Схема классической системы зажигания.

Если теперь вал двигателя поворачивать (рукояткой, стартером или по инерции), то в какой-то момент времени контакты прерывателя *К* разомкнутся под действием кулачка, механически связанного с валом. При размыкании контактов прерывателя (момент t_1) магнитный поток первичной обмотки резко уменьшится. При пересечении витков первичной обмотки w_1 катушки зажигания *Тр* уменьшающим магнитным потоком в ней возникает э. д. с. самоиндукции, задерживающая моментальное исчезновение тока в первичной цепи. Длительность задержки тока пропорциональна величине э. д. с. самоиндукции, которая в свою очередь зависит от индуктивности первичной обмотки катушки зажигания.

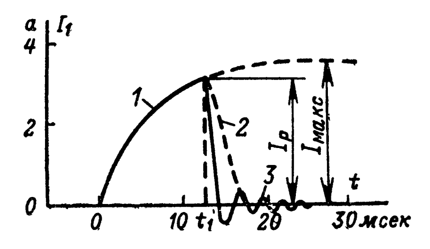


Рис. 2. График изменения тока за один цикл зажигания.

Так как при размыкании контакты прерывателя расходятся не мгновенно, а постепенно, то поддерживаемый в первичной обмотке катушки зажигания ток в течение некоторого времени продолжает протекать через дугу, образовавшуюся в зазоре между контактами прерывателя. Помимо окисления поверхностей и физиче-

ского разрушения контактов, это явление приводит также к дополнительному затягиванию тока, что равноценно уменьшению скорости исчезновения магнитного потока в первичной обмотке.

Для предохранения контактов прерывателя от дугового разряда параллельно им включают конденсатор C_1. В момент размыкания контактов прерывателя конденсатор всегда полностью разряжен, его сопротивление значительно меньше сопротивления воздушного промежутка между контактами прерывателя, и весь ток идет на заряд конденсатора. Для уменьшения опасности возникновения дугового разряда между контактами прерывателя при самых малых оборотах двигателя, когда скорость размыкания контактов наименьшая, емкость конденсатора должна быть наибольшей. Однако увеличение емкости приводит к уменьшению скорости исчезновения магнитного потока (кривая *2* на рис. 2). Далее будет показано, что следствием этого является уменьшение выходного напряжения, что также недопустимо. Емкость конденсатора C_1 выбирают с учетом этих противоречивых фактов, и она имеет обычно значение 0,17—0,35 *мкф*. Это значит, что при приемлемой величине выходного напряжения остается опасность образования дугового разряда между контактами прерывателя на самых малых оборотах двигателя.

Разряд конденсатора происходит через первичную обмотку катушки зажигания. Ток разряда конденсатора направлен навстречу основному току первичной обмотки катушки зажигания, что способствует увеличению скорости исчезновения магнитного потока Электродвижущая сила самоиндукции при этом достигает 200—300 *в*, а индуцируемое напряжение во вторичной обмотке w_2 катушки зажигания *Тр* достигает 12—26 *кв*, что обеспечивает пробой искрового промежутка в свече зажигания.

Искровой разряд состоит из двух фаз: емкостной и индуктивной. Емкостная фаза разряда представляет собой разряд в искровом промежутке свечи энергии, накопленной к моменту пробоя (при напряжении во вторичной цепи равном $U_{пр}$) в электрическом поле емкостей C_1 и C_2 и равной

$$\frac{C_1\left(\frac{w_1}{w_2}U_{пр}\right)^2}{2}+\frac{C_2U_{пр}^2}{2}=\frac{C_1\left(\frac{w_1}{w_2}\right)^2+C_2}{2}U_{пр}^2<\frac{LI_{макс}^2}{2}.$$

Эта энергия составляет лишь часть максимальной энергии, накапливаемой в катушке зажигания *Тр*. Емкостная фаза разряда длится 1—3 *мксек* Оставшаяся часть энергии расходуется в индуктивной фазе разряда, представляющей собой тлеющий разряд длительностью в несколько миллисекунд. Импульс емкостного тока достигает десятков ампер, а в индуктивной фазе измеряется десятками миллиампер Визуально емкостная фаза разряда наблюдается в виде яркой голубоватой искры, а индуктивная — в виде слабого красноватого свечения. При нормальной работе двигателя смесь в цилиндрах воспламеняется емкостной искрой, однако и индуктивная составляющая имеет значение, особенно при пуске холодного двигателя и в режимах неполных нагрузок. Достаточно высокое напряжение, обеспечивающее искровой разряд между электродами свечи, поддерживается в течение некоторого времени за счет колебательного процесса в контуре, образованном конденсатором C_1 и первичной обмоткой катушки зажигания *Тр* (кривая *3* на рис. 2).

Длительность искрового разряда зависит от количества энергии, накопленной в первичной обмотке катушки зажигания. Если вал двигателя продолжает проворачиваться, то в какой-то момент кулачок освободит подвижный контакт прерывателя. Под действием возвратной пружины контакты замкнутся и в первичной обмотке начнет протекать нарастающий ток, максимальная величина которого определяется полным сопротивлением цепи.

Однако при работе двигателя на больших оборотах интервал между моментами замыкания и последующего размыкания контактов прерывателя становится соизмеримым с постоянной времени первичной цепи. Так, при работе шестицилиндрового двигателя со скоростью 5 000 *об/мин* интервал времени, в течение которого контакты замкнуты (в одном цикле), составляет всего 2 *мсек*. В то же время постоянная времени первичной цепи при индуктивности катушки зажигания 5 *мгн* и активном сопротивлении цепи 1 *ом* достигает 5 *мсек*. Поэтому при больших скоростях двигателя ток в катушке зажигания не успевает возрасти до максимального значения к моменту размыкания контактов прерывателя (момент t_1 на рис. 2), а первичный ток достигает величины так называемого тока разрыва, который равен:

$$I_р = \frac{E}{R}\left(1 - e^{-\frac{R}{L}t_з}\right) \leqslant I_{макс},$$

где $t_з$ — время замкнутого состояния прерывателя. Отсюда следует, что накопленная катушкой зажигания энергия, а следовательно, и величина выходного напряжения уменьшаются с увеличением оборотов вала двигателя.

Величину вторичного напряжения катушки зажигания U_2, являющегося выходным напряжением системы зажигания, обычно оценивают исходя из баланса энергии при колебательном процессе в первичной и вторичной цепях системы зажигания. В момент размыкания контактов прерывателя первичный ток достигает величины $I_р$ и в магнитном поле катушки накапливается энергия $LI^2_р/2$. После размыкания контактов прерывателя начинается колебательный процесс, и первичный ток падает по косинусоиде, в то время как выходное напряжение U_2 растет по синусоиде. Через четверть периода, когда первичный ток упадет до нуля, вся энергия магнитного поля перейдет в энергию электрического поля емкостей C_1 и C_2, и в этот момент напряжение на них достигает максимума. Пренебрегая потерями, можно записать, что

$$\frac{LI^2_р}{2} = \frac{C_1 U_1^2}{2} + \frac{C_1 U_2^2}{2},$$

с учетом того, что $U_1 = \frac{w_1}{w_2} U_2$, получим:

$$U_2 \approx I_р \sqrt{\frac{L}{C_1\left(\frac{w_1}{w_2}\right)^2 + C_2}}$$

Это выражение показывает, что величина индуцированного выходного напряжения U_2 пропорциональна величине тока разрыва и

уменьшается с увеличением емкости конденсатора C_1 и емкости вторичной цепи C_2. Приведенное выражение для U_2 весьма приближенно, так как при его выводе делался ряд допущений, однако оно дает возможность проанализировать основные характеристики систем батарейного зажигания. Наиболее простая связь имеет место между U_2 и током разрыва $I_р$, когда величина выходного напряжения прямо пропорциональна току разрыва. Однако такая зависимость наблюдается только при бездуговой работе контактов и при отсутствии потерь на утечки через шунтирующее сопротивление $R_ш$ во вторичной цепи. При больших токах разрыва вследствие потерь на

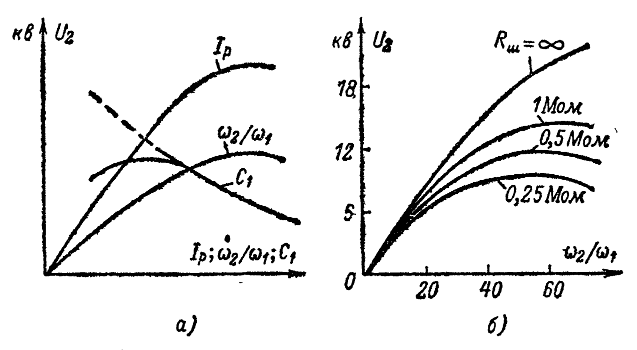


Рис. 3. График зависимости выходного напряжения от параметров элементов электромеханической системы.

дугу между контактами, потерь на утечки тока и корону во вторичной цепи рост выходного напряжения замедляется и при чрезмерных токах разрыва практически прекращается. Практическая зависимость выходного напряжения U_2 от тока разрыва приведена на рис. 3, *а*.

Возможность увеличения тока первичной цепи для получения более высокого выходного напряжения ограничена долговечностью контактов прерывателя. Опыт эксплуатации автомобильных систем зажигания показал, что эксплуатационная долговечность контактов зависит от значения прерываемого ими тока. При малых токах долговечность контактов (время их бесперебойной работы) мала, так как любое незначительное загрязнение контактов приводит к повышению их переходного сопротивления и нарушает работоспособность системы зажигания. Если же ток через контакты превышает 4—5 *а*, то причиной выхода контактов из строя становится окисление поверхности контактов из-за значительной рассеиваемой мощности и нарушения плоскости соприкосновения контактов вследствие их эрозии. В результате эрозии контакт из плоскостного превращается в точечный и его переходное сопротивление резко возрастает. Если гарантируемую долговечность контактов в электрической системе зажигания считать допустимой, то можно принять, что интервал рабочих токов через контакт лежит между значениями примерно от 0,25 *а* до 4 *а*. Наибольшая эксплуатационная надежность имеет место при токах около 1 *а*.

Увеличение индуктивности первичной обмотки катушки зажигания для повышения накапливаемой энергии вступает в противоречие с требованием увеличения скорости изменения магнитного потока и с необходимостью иметь малую постоянную времени накопления энергии для уверенной работы на больших скоростях.

Степень влияния коэффициента трансформации w_2/w_1 на величину выходного напряжения U_2 зависит от величины шунтирующего сопротивления $R_ш$. При отсутствии утечек выходное напряжение растет с увеличением коэффициента трансформации катушки зажигания. Однако вследствие наличия потерь в элементах системы эта зависимость по мере увеличения коэффициента трансформации становится нелинейной и при больших его значениях увеличения выходного напряжения не происходит. При уменьшении шунтирующего сопротивления нелинейный характер этой зависимости становится более отчетливым (рис. 3, *б*). Следует отметить, что величина оптимального коэффициента трансформации зависит от индуктивности первичной цепи и шунтирующего сопротивления. Увеличение коэффициента трансформации катушки зажигания при относительно высокой индуктивности первичной обмотки (5—10 *мгн*) сопровождается недопустимым увеличением паразитной межвитковой емкости вторичной обмотки, опасностью межвиткового пробоя, трудностями конструктивного характера. Таким образом, при увеличении как емкости конденсатора C_1 в первичной цепи, так и емкости C_2 во вторичной цепи выходное напряжение, развиваемое катушкой зажигания, понижается.

На рис. 3, *а* показаны расчетная (пунктиром) и экспериментальная кривые зависимости выходного напряжения U_2 от емкости конденсатора C_1 первичной цепи. Расхождение между расчетной и экспериментальной кривыми объясняется тем, что при чрезмерном уменьшении емкости C_1 искрогашение на контактах ухудшается и потери на джоулево тепло искры или дуги, возникающие при размыкании контактов прерывателя, резко возрастают, в результате чего выходное напряжение, развиваемое катушкой, падает.

Емкость вторичной цепи, определяемая длиной и расположением высоковольтных проводов, емкостью свечи зажигания, собственной емкостью катушки зажигания, емкостью распределителя и т. д, не может быть ниже определенной величины, которая практически лежит в пределах 40—75 *мкмф*. При увеличении этой емкости выходное напряжение падает. Следует подчеркнуть, что при экранировании системы зажигания (для снижения радиопомех) емкость вторичной цепи резко возрастает и для сохранения выходных характеристик на необходимом уровне нужен достаточно большой запас по напряжению.

Электромеханическая система зажигания практически достигла в своем развитии принципиального предела. А требования, диктуемые развитием техники, все возрастают. Современные двигатели должны быть все более высокооборотными, экономичными и надежными, способными безотказно работать в любых условиях эксплуатации. Это заставило специалистов искать новые пути решения задач, поставленных перед системой зажигания, путем использования последних достижений электронной техники и пересмотра некоторых основных принципов, положенных в основу современной системы зажигания. В настоящее время наметились два основных направления модернизации систем зажигания:

разделение функций синхронизации системы зажигания и ком-

мутации первичного тока с передачей последней транзисторному коммутатору;

разделение функций накопления энергии и повышения напряжения зажигания с передачей функции накопителя специальному накопительному конденсатору.

Дальнейшим развитием этих направлений является полный отказ от механических элементов в системе зажигания: замена контактов и кулачка прерывателя электромагнитным или другим синхродатчиком, замена механической системы коррекции угла опережения зажигания электронной системой и т. д. Все эти системы зажигания получили общее название «электронные системы зажигания».

В настоящее время в Советском Союзе и за рубежом разработаны и эксплуатируются на серийных автомобилях многие варианты приборов зажигания, представляющие оба направления. Разработчики электронных систем зажигания называют следующие преимущества таких систем перед электромеханическими: универсальное применение на всех типах двигателей внутреннего сгорания; выходное напряжение 30—50 *кв* при всех режимах работы двигателя; ток, прерываемый контактами прерывателя не более 1 *а*; быстрый и плавный набор скорости, без сбоев в работе двигателя; увеличение максимальной скорости вала двигателя на 10—30%; отсутствие разогрева контактов прерывателя и полное сгорание топлива при малых и больших оборотах вала двигателя; экономия горючего до 10%; уменьшение разряда аккумулятора за счет легкого запуска; облегченный запуск двигателя рукояткой при отрицательных температурах; исключение конденсатора прерывателя, подверженного пробою.

В числе основных недостатков электронной системы зажигания называют высокую стоимость прибора, иногда его сложность и большую мощность, потребляемую системой.

Описанные в брошюре электронные системы зажигания с использованием транзисторных коммутаторов первичного тока объединены общим названием «транзисторные системы зажигания», а системы зажигания с конденсаторным накопителем объединены названием «конденсаторные системы зажигания».

Все описанные ниже модификации систем зажигания относятся исключительно к элементам, расположенным внутри ограниченного пунктиром прямоугольника на рис. 1. Элементы, не входящие в этот прямоугольник, являются общими для всех систем, а потому в последующих схемах они, как правило, не приводятся и в тексте не упоминаются.

ТРАНЗИСТОРНЫЕ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Наивыгоднейшие условия работы контактов прерывателя при одновременном увеличении тока первичной обмотки катушки зажигания до значений, определяемых требованием бесперебойного искрообразования в свечах во всем рабочем диапазоне оборотов двигателя, достигаются путем разделения функции синхронизатора и прерывателя тока первичной цепи. Синхронизация транзисторной системы зажигания с двигателем осуществляется, как и для электромеханической, контактами прерывателя. Вырабатываемые контактами прерывателя, сигналы синхронизации осуществляют управление транзисторным коммутатором тока первичной обмотки. Параметры коммутатора (входной ток, коэффициент усиления) выбираются такими, чтобы контакты прерывателя работали при токах, обеспечивающих максимальную эксплуатационную долговечность.

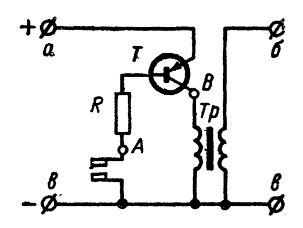


Рис. 4. Схема транзисторной системы зажигания.

Коммутатор прерывает ток, протекающий через первичную обмотку катушки зажигания. В качестве коммутатора используется мощный транзистор или комбинация транзисторов. Такой коммутатор обеспечивает прерывание необходимого тока с достаточным быстродействием.

Схема транзисторной системы зажигания изображена на рис. 4. Контакты прерывателя подключены в цепь базы мощного транзистора, а первичная обмотка катушки зажигания — в цепь коллектора транзистора, коммутируемого за счет изменения сопротивления участка эмиттер — коллектор Транзистор работает в ключевом режиме, позволяющем пропускать через него большие токи.

Для получения минимальной постоянной времени цепи первичного тока транзистор при пропускании тока должен быть в режиме насыщения. Для этого при замыкании контактов прерывателя должно удовлетворяться условие

$$i_б \geqslant i_к \frac{1-\alpha}{\alpha} = \frac{i_к}{\beta},$$

где $i_б$ — ток базы (управляющий); $i_к$ — рабочий ток коллектора, α — коэффициент усиления по току транзистора в схеме с общей

базой; β — коэффициент усиления по току транзистора в схеме с общим эмиттером.

При выполнении этого условия падение напряжения на участке эмиттер — коллектор $\Delta U_{э\,к}$ транзистора за счет первичного тока составляет 0,3—0,6 *в*.

При размыкании контактов прерывателя, когда ток в цепи управления отсутствует, внутреннее сопротивление участка эмиттер—коллектор транзистора резко возрастает и ток через транзистор практически прекращается. В связи с этим, несмотря на большую мощность, коммутируемую транзистором, на самом транзисторе в ключевом режиме рассеивается незначительная мощность. Значительные потери мощности, вызывающие перегрев транзистора, происходят в этом режиме в моменты переключения транзистора из проводящего состояния в непроводящее и наоборот, так как в эти моменты сопротивление участка эмиттер — коллектор велико, а транзистор продолжает пропускать большие токи. Поэтому в транзисторной системе зажигания требования к минимальному времени переключения тока обусловлены не только необходимостью получения высокого выходного напряжения, но и необходимостью улучшения теплового режима транзистора.

Включение параллельно контактам прерывателя конденсатора в этом случае становится даже вредным, так как, перезаряжаясь в момент размыкания контактов, он препятствует мгновенному исчезновению тока управления в цепи базы, что увеличивает время запирания транзистора. К тому же первоначальная причина применения этого конденсатора — отсасывание энергии для предотвращения дугового разряда между контактами прерывателя — теперь не имеет смысла из-за малого тока через контакты.

В практических схемах транзисторных коммутаторов, в которых используются германиевые триоды, обычно используют активное запирание транзистора, при котором во время переключения на эмиттерный переход подается постоянное или импульсное напряжение в обратном направлении. При этом запирающее напряжение должно быть тем больше, чем меньше коэффициент усиления транзистора по току и чем выше напряжение источника питания. Подробно процессы, происходящие в транзисторных системах зажигания, описаны в [Л. 1].

На рис. 5 приведены осциллограммы напряжения в некоторых характерных точках электромеханической (*а*, *б*) и транзисторной (*в*, *г*) систем зажигания. Эти осциллограммы относятся к случаю ненагруженной системы, когда отсутствует разрядный промежуток (свеча), и позволяют оценить порядок величин напряжений и временные характеристики системы зажигания. Осциллограммы нагруженной системы зажигания рассмотрены в гл. 4.

В точке *а* электромеханической системы зажигания, схема которой приведена на рис 1, при замкнутых контактах прерывателя напряжение практически равно нулю, так как падением напряжения на сопротивлении первичной обмотки катушки зажигания можно пренебречь. При размыкании контактов прерывателя ток прекращается и напряжение в точке *а* становится равным напряжению аккумулятора. При последующем замыкании контактов прерывателя ток через первичную обмотку катушки зажигания нарастает по экспоненте с постоянной времени в несколько миллисекунд. Соответственно падает напряжение в точке *а*, что отражено на осциллограмме (рис. 5, *а*). Эта постоянная времени и определяет быстродействие

системы зажигания. В точке A электромеханической системы зажигания при размыкании контактов прерывателя образуется бросок напряжения длительностью около 20 *мксек*, определяемый временем заряда конденсатора, который затем переходит в колебательный процесс (рис. 5, *б*). Эти колебания происходят относительно постоянного уровня +12 *в*. После замыкания контактов напряжение вновь становится равным нулю

Характер изменения напряжений в транзисторной системе иной. В точке A, т. е. на контактах прерывателя (см. рис. 4) здесь форми-

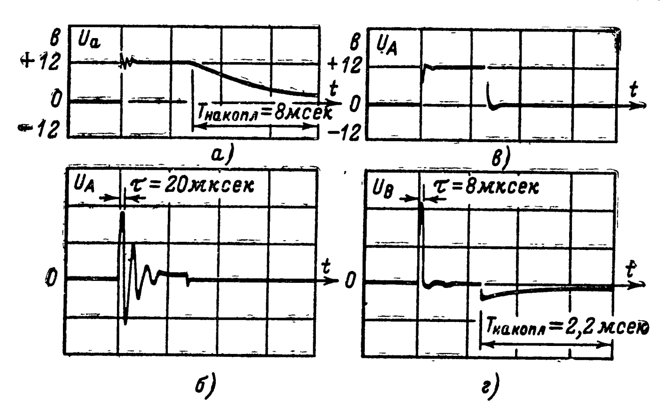


Рис. 5. Осциллограммы напряжения в электромеханической (*а*, *б*) и транзисторной (*в*, *г*) системах зажигания.

руется практически прямоугольный импульс напряжения, причем время нарастания напряжения при размыкании контактов определяется лишь входной емкостью транзисторного коммутатора. Это время составляет несколько микросекунд. При последующем замыкании контактов также быстро происходит спад напряжения (рис. 5, *в*). На первичной обмотке катушки зажигания в точке B транзисторной системы происходит дифференцирование этого прямоугольного импульса вследствие малой постоянной времени цепи (рис. 5, *г*). Отсутствие конденсатора проявляется в том, что колебательный процесс не поддерживается. Скорость нарастания напряжения составляет единицы микросекунд При последующем замыкании контактов происходит накопление энергии в первичной обмотке, причем постоянная времени накопления определяется индуктивностью первичной обмотки и обычно составляет единицы миллисекунд.

Следует отметить, что отраженные на осциллограммах амплитудно-временные характеристики систем зажигания являются в основном качественной иллюстрацией процессов Конкретные величины напряжений и временные характеристики зависят от параметров элементов системы и могут несколько отличаться от приведенных. В частности, осциллограммы транзисторной системы относятся к системе, в которой установлена катушка зажигания с пониженной величиной индуктивности, а при обычной катушке зажигания время накопления энергии будет вдвое больше.

Качество системы зажигания определяется ее выходной характеристикой, представляющей собой зависимость выходного напряжения системы от скорости вала двигателя. На рис. 6 приведены выходные характеристики электромеханической (кривая *1*) и транзисторной (кривая *2*) систем зажигания, а также зависимость тока в первичной обмотке катушки зажигания от числа оборотов вала двигателя (кривая *3*).

Электромеханическая система зажигания характеризуется падением выходного напряжения как на малых оборотах вала двигателя

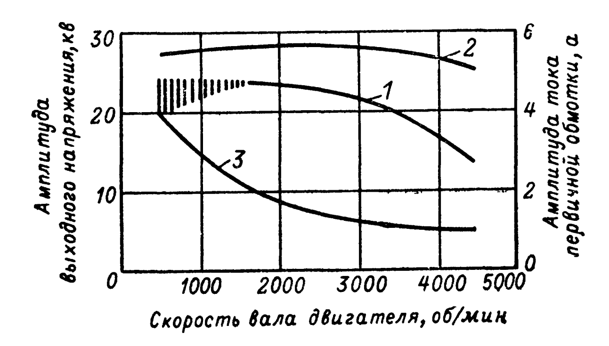


Рис. 6. Выходные характеристики систем зажигания.

1 — для электромеханической системы; *2* — для транзисторной системы; *3* — характеристика тока в первичной обмотке катушки зажигания.

за счет шунтирования первичной обмотки катушки зажигания возникающим дуговым разрядом в контактах прерывателя и связанными с этим перебоями в работе двигателя (заштрихованная область кривой *1* на рис. 6), так и при больших оборотах вала двигателя за счет большой постоянной времени цепи тока первичной обмотки.

Применение транзисторной системы зажигания позволяет установить оптимальную величину тока через контакты с точки зрения их долговечности, не нарушая при этом энергетику работы системы. Прерываемый контактами ток в этом случае уменьшается с 4—5 *а* до оптимальной величины около 1 *а*. В то же время существенно изменяется характер цепи, прерываемой контактами. Если в электромеханической системе прерывается цепь с большой индуктивностью, что вызывает значительный экстраток через контакты, то в транзисторной системе разрываемая контактами цепь имеет чисто активный характер. Уменьшение прерываемого тока с одновременным изменением характера нагрузки прерываемой цепи исключает возникновение дугового разряда между контактами прерывателя и настолько облегчает условия их работы, что поверхность контактов не нарушается, а эксплуатационная долговечность становится практически неограниченной. Контакты прерывателя не требуют частой зачистки, регулировки и замены. Выходное напряжение в течение всего срока службы системы зажигания остается постоянным.

Как видно из рис. 6, при применении транзисторной системы зажигания даже при самых малых оборотах холостого хода не наблю

дается уменьшения выходного напряжения, что гарантирует уверенный запуск двигателя рукояткой или стартером в холодную погоду.

Осциллографическое исследование характеристик электромеханической системы зажигания показало, что возникновение дугового разряда между контактами прерывателя приводит как к уменьшению выходного напряжения, так, иногда, и к полному отсутствию зажигания. Последнее явление объясняется увеличением времени нарастания выходного напряжения за счет образования дугового разряда. Дело в том, что надежность срабатывания системы зажигания зависит от чистоты свечей зажигания. Загрязнение свечей эквивалентно шунтированию искрового промежутка дополнительным сопротивлением, что затрудняет условия его пробоя. Возможность возникновения искрового разряда в таком промежутке в значительной степени зависит от скорости нарастания напряжения на электродах свечи. Как уже упоминалось, транзисторная система характеризуется большей и стабильной скоростью нарастания выходного напряжения, что обеспечивает уверенное возникновение разряда даже при загрязненных свечах.

Преимуществом транзисторной системы зажигания является также возможность заметного уменьшения постоянной времени первичной цепи. Для обеспечения требуемого запаса энергии в электромеханической системе зажигания индуктивность обмотки должна быть значительной (8—10 *мгн*), однако, как было описано в предыдущем параграфе, в этом случае при больших оборотах вала двигателя уменьшается амплитуда выходного напряжения (кривая *1* на рис. 6).

Возможность значительного увеличения протекающего через первичную обмотку катушки зажигания тока при применении транзисторной системы зажигания позволяет соответственно уменьшить индуктивность обмотки при сохранении того же энергетического баланса, т. е. позволяет уменьшить число витков первичной обмотки катушки зажигания (при сохранении прежней намагничивающей силы). В результате коэффициент трансформации катушек зажигания, разработанных специально для транзисторных систем, достигает значений 1 : 300÷500 (по сравнению с 1 . 150 для электромеханической системы), что сопровождается увеличением напряжения на вторичной обмотке. Практические транзисторные схемы зажигания работают при токе первичной цепи 7—11 *а*.

Ток первичной цепи транзисторной системы зажигания достигает 9 *а* меньше чем за 5 *мсек*, а 8 *а* за 2 *мсек*. Это значит, что в восьмицилиндровом двигателе при скорости вала 5 000 *об/мин* ток первичной цепи уменьшается не более чем на 15% по сравнению с максимальным током, имеющим место при малой скорости. Для двигателей с меньшим количеством цилиндров падение тока на больших оборотах еще меньше В результате выходное напряжение транзисторной системы зажигания сохраняет практически постоянную величину во всем диапазоне рабочих скоростей вала двигателя.

При равномерном во всем диапазоне рабочих скоростей выходном напряжении, абсолютная величина которого превышает в 1,5—2 раза выходное напряжение электромеханической системы зажигания, горючая смесь полностью сгорает при всех режимах работы двигателя, что существенно влияет на его эксплуатационные характеристики.

Отсутствие опасности возникновения дугового разряда между контактами прерывателя и большое выходное напряжение, обеспечивающее надежное искрообразование в свечах при всех режимах ра-

боты двигателя, позволяют уменьшить зазор между контактами прерывателя транзисторной системы до 0,12—0,2 *мм* (вместо 0,45 *мм* в электромеханической системе), что значительно снижает требования к качеству и частоте регулировки зазора.

Увеличение выходного напряжения позволяет увеличить разрядный зазор в свече до 1,0—1,5 *мм* (вместо 0,6—0,8 *мм* в электромеханической системе). При этом улучшаются условия воспламенения горючей смеси, отпадает необходимость регулировать разрядный зазор в течение всего срока службы свечи, которая четко работает при любом загрязнении.

К недостаткам транзисторной системы зажигания следует отнести большую потребляемую мощность, которая при неработающем двигателе и замкнутых контактах составляет около 100 *вт* (электромеханическая система потребляет в этих же условиях 45 *вт*), а при размыкании контактов потребляемая мощность снижается до 2 *вт*. При работающем двигателе мощность, потребляемая транзисторной системой, составляет около 60 *вт*, что вдвое превышает мощность, потребляемую электромеханической системой.

При изготовлении транзисторной системы зажигания возникают некоторые трудности, связанные с особенностями характеристик транзисторов и условиями их работы в этой системе. В силу индуктивного характера нагрузки транзистора напряжение на коллекторе запертого транзистора может иногда достигать 300 *в* (когда используется высокоомная катушка). Отечественная промышленность в настоящее время не выпускает мощных транзисторов, способных выдерживать столь высокое напряжение.

Одним из способов решения этой проблемы является последовательное включение двух или трех транзисторов в цепь тока первичной обмотки с таким расчетом, чтобы напряжение на каждом из транзисторов не превышало допустимой величины. Другой вариант решения проблемы заключается в защите транзистора от пробоев с помощью стабилитрона, подключенного между эмиттером и коллектором транзистора. Напряжение стабилизации стабилитрона в этом случае не должно превышать допустимой для транзистора величины.

Условия работы транзистора улучшаются при применении специальной катушки зажигания с малой индуктивностью первичной обмотки, так как э. д. с. самоиндукции в первичной цепи в этом случае значительно ниже.

Более полно с теорией и практикой транзисторных систем можно познакомиться в литературе [Л. 1].

СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ С ЗАЩИТОЙ ТРАНЗИСТОРА СТАБИЛИТРОНОМ

Принципиальные схемы транзисторных систем зажигания с защитой транзистора стабилитроном приведены на рис. 7.

На рис. 7, *а* приведена схема фирмы «Форд». Как видно из схемы, катушка зажигания включена в коллекторную цепь транзистора *T*. Процесс запирания транзистора *T*, работающего в ключевом режиме, активный и форсируется при помощи специального тороидального трансформатора $Тр_1$. Первичный ток катушки зажигания протекает по обмотке w_1 этого трансформатора. При размыкании контактов прерывателя происходит спад первичного тока и э. д. с., возникающая в обмотке w_3, через включенный последовательно с ней

резистор R_1 воздействует на эмиттерный переход транзистора в запирающем направлении В этой схеме применен мощный германиевый транзистор, у которого допустимое напряжение между эмиттером и коллектором равно примерно 100 *в*. Для защиты транзистора от перенапряжения на этом участке использован стабилитрон *Д* Напряжение пробоя стабилитрона выбрано меньше допустимого для перехода коллектор — эмиттер транзистора *Т*. Увеличение напряжения на катушке зажигания до величины напряжения пробоя стабилитрона не будет отражаться на работе схемы. При увеличении напряжения выше этой величины стабилитрон пробивается и через него начинает

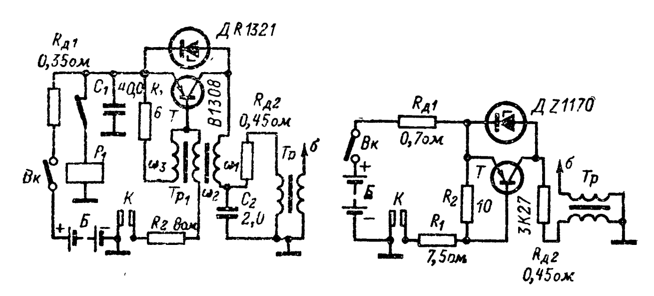


Рис. 7. Транзисторные системы зажигания с защитой стабилитроном.

протекать ток. При этом напряжение на первичной обмотке катушки зажигания ограничивается. Включение конденсатора C_2 обеспечивает облегчение условий коммутации транзистором *Т* первичного тока.

Защита от случайных перенапряжений в цепи питания осуществляется путем включения электролитического конденсатора большой емкости C_1. Для защиты транзистора от перегрузок по току в схеме предусмотрено реле P_1, которое срабатывает при достижении напряжением в цепи питания определенной величины. При этом контакты реле разорвут цепь, шунтировавшую добавочный резистор $R_{д1}$. Резистор $R_{д2}$ служит для улучшения теплового режима катушки зажигания. Резистор R_2 ограничивает ток базы до необходимого уровня. Катушка зажигания в этой системе имеет коэффициент трансформации $w_2/w_1=260$ и индуктивность первичной обмотки $L_1=1,4$ *мгн*, что обеспечивает достаточно низкую величину э. д. с. самоиндукции в первичной обмотке катушки зажигания при размыкании первичного тока.

На рис 7, *б*, приведена схема транзисторной системы зажигания фирмы «Делько — Реми», которая предназначена для переоборудования существующего парка автомобилей. Принципиальным отличием данной схемы является отсутствие активного запирания транзистора *Т* при размыкании контактов прерывателя. Это приводит к некоторому ухудшению рабочих характеристик и снижению теплоустойчивости, из-за чего фирма рекомендует устанавливать транзисторный коммутатор между радиатором и его обшивкой. Первичная цепь катушки зажигания здесь также включена в коллекторную цепь транзистора, и принцип действия не отличается от предыдущей схемы. Резистор R_2 исключает обрыв цепи базы при размыкании контактов

прерывателя. Катушка зажигания имеет коэффициент трансформации $w_2/w_1=225$, а индуктивность первичной обмотки $L_1=3,1$ *мгн*. Рабочий ток в первичной обмотке при размыкании контактов прерывателя составляет 7,3 *а*, а ток, разрываемый контактами прерывателя, 0,5—0,6 *а*. Простота данной схемы дает возможность воспроизводить ее в любительской практике. В ней можно использовать отечественный мощный германиевый транзистор типа ГТ701А и катушку зажигания типа Б-114 При этом необходимо особенно обратить внимание на создание хороших условий для теплообмена схемы с окружающей средой.

Применение стабилитрона для защиты транзистора от перенапряжений — не единственный и не наилучший способ решения задачи. В описанных схемах необходимо применять мощный транзистор, пропускающий токи до 12 *а* с допустимым напряжением на коллекторе не ниже напряжения стабилизации (обычно 50—120 *в*). Это наиболее высококачественные транзисторы, они дефицитны и дороги. К тому же при пробое стабилитрона резко увеличивается время нарастания напряжения на вторичной обмотке, так как цепь стабилитрона шунтирует первичную обмотку катушки зажигания.

СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ВКЛЮЧЕННЫМИ ТРАНЗИСТОРАМИ

Схемы с последовательно включенными мощными транзисторами, в которых полное значение возникающей на первичной обмотке э. д. с. делится между транзисторами, при своей относительной простоте позволяют использовать мощные транзисторы широкого применения, характеризующиеся невысокими значениями допустимого коллекторного напряжения.

Принципиальная схема транзисторной системы зажигания, в которой использованы три последовательно включенных транзистора общего применения, приведена на рис. 8. Схема выгодно отличается отсутствием дефицитных деталей и возможностью использования обычной катушки зажигания типа Б1. Схема представляет собой один последовательный транзисторный ключ.

При разомкнутых контактах *К* прерывателя транзисторы T_1—T_3 заперты и ток через первичную обмотку катушки зажигания отсутствует. При замкнутых контактах прерывателя ток в первичной обмотке составляет, как и в обычной системе зажигания, около 4 *а*.

В связи с тем что э. д. с самоиндукции в первичной обмотке катушки зажигания при размыкании прерывателя достигает 200—300 *в*, транзисторы работают в тяжелых условиях. Для выравнивания падения напряжения на транзисторах между коллектором и эмиттером каждого транзистора включен резистор, сопротивление которого значительно ниже внутреннего сопротивления транзистора в запертом состоянии Благодаря этому напряжение распределяется между транзисторами равномерно независимо от их параметров.

Цепь управления транзисторными коммутаторами состоит из резисторов R_4—R_{10}, диодов $Д_1$—$Д_2$ Резистор $R_д$ ограничивает величину тока первичной цепи, а при пуске двигателя закорачивается.

При замыкании контактов прерывателя процесс управления транзисторным коммутатором происходит следующим образом. Транзистор T_1 управляется током, проходящим по цепи: плюс аккумуляторной батареи, резистор $R_д$, переход эмиттер — база транзистора T_1,

резисторы R_7 и R_{10}, контакты прерывателя, минус аккумуляторной батареи. Транзистор T_1 при этом отпирается. Когда транзистор T_1 отопрется, создается цепь: плюс аккумуляторной батареи, резистор $R_д$, переход эмиттер — коллектор транзистора T_1, переход эмиттер — база транзистора T_2, диод $Д_1$, резисторы R_8 и R_{10}, контакты прерывателя, минус аккумуляторной батареи. Транзистор T_2 при этом отопрется. Аналогичным образом отпирается транзистор T_3, и через первичную обмотку катушки зажигания начинает протекать ток.

Регулировка схемы производится в следующем порядке. Резисторы R_1—R_3 выпаивают из схемы. Затем подают питание и размыка-

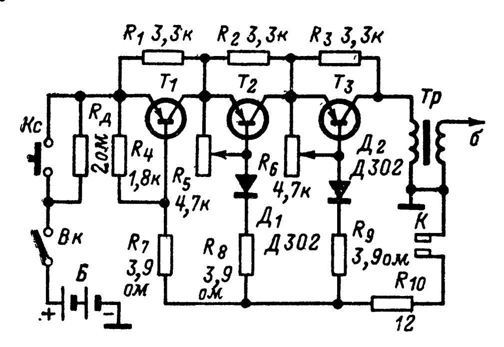


Рис. 8. Система зажигания с тремя последовательно включенными транзисторами.

ют контакты прерывателя K. С помощью потенциометров R_5 и R_6 регулируют напряжение на участках коллектор — эмиттер всех транзисторов таким образом, чтобы оно было одинаковым. После этого замыкают контакты прерывателя (при этом транзисторы T_1—T_3 открываются) и опять измеряют напряжение на участках коллектор—эмиттер всех транзисторов, которое в данном случае не должно превышать 0,4—0,45 *в*. Транзисторы, на которых падение напряжения окажется больше этой величины, должны быть заменены. После этого подбором сопротивлений резисторов R_7—R_9 добиваются равенства падения напряжения на открытых транзисторах. При этом суммарный ток через контакты прерывателя может быть отрегулирован при помощи резистора R_{10} и не должен превышать величины 0,8—0,9 *а*. По завершении регулировки резисторы R_1—R_3 впаиваются обратно.

Схема транзисторной системы зажигания, приведенная на рис. 9, является дальнейшим усовершенствованием предыдущей схемы и отличается от нее введением положительной обратной связи в цепи управления, обеспечивающей активное запирание транзисторов. При этом существенно облегчаются режим работы транзисторов и процесс наладки схемы. Электронный ключ в данном случае работает следующим образом. При замкнутом состоянии контактов прерывателя и установившемся значении тока в цепи управления схема практически не отличается от предыдущей. Однако в момент размыкания контактов прерывателя, когда ток в базах транзисторов прекращается и, таким образом, в обмотке w_4 трансформатора про-

исходит спад тока, в обмотках w_1, w_2 и w_3 наводится э. д. с., приложенная плюсом к базе транзистора, а минусом к его эмиттеру В результате этого ускоряется процесс запирания транзисторов при размыкании контактов. Аналогичным образом ускоряется процесс их отпирания при замыкании контактов. Учитывая то обстоятельство, что скорость изменения тока в первичной цепи существенно сказывается на величине выходного напряжения, в данной схеме удается получить выходное напряжение существенно большей величины, чем в предыдущей. Трансформатор Tp_1 собирается на Ш-образном сердечнике с сечением 1—3 *см*². Пластины собираются вперекрышку, без зазора. Обмотки w_1, w_2 и w_3 содержат по 50 витков провода ПЭЛШО диаметром 0,1 *мм* и наматываются одновременно тремя сложенными вместе проводами. Обмотка w_4 содержит 50 витков провода ПЭЛ диаметром 0,72 *мм*.

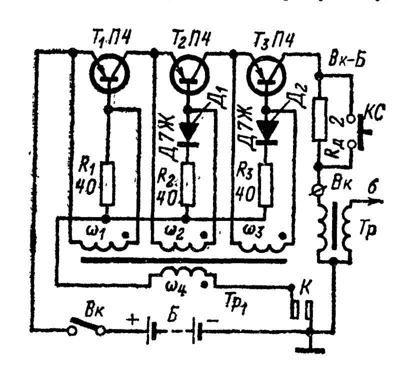


Рис. 9. Система зажигания с активным запиранием транзисторов.

Резисторы R_1, R_2 и R_3 наматываются проводом с высоким сопротивлением (нихром, константан или никелин) на резисторах типа ВС-2 Диаметр провода должен быть не менее 0,25 *мм*. Эффективность и надежность работы схемы во многом зависят от правильного выбора и установки транзисторов. Транзистор T_3 должен иметь наибольший коэффициент усиления по току, а транзистор T_1 — наименьший. Транзисторы, на которых в открытом состоянии падение напряжения превышает 0,45 *в*, для работы в схеме непригодны. Подбор транзисторов можно осуществлять по рекомендации авторов [Л. 18]. Собранная схема при правильно подобранных транзисторах налаживания не требует и обеспечивает вполне приемлемые для любительской практики характеристики.

В рассмотренных схемах использована обычная катушки зажигания, поэтому, естественно, нет возможности уменьшить постоянную времени первичной цепи, а следовательно, заметного повышения выходного напряжения, особенно на больших оборотах, не наблюдается. Однако такие системы зажигания позволяют разгрузить контакты прерывателя по напряжению в 10—20 раз, а по току в 3—4 раза, благодаря чему улучшаются условия эксплуатации системы зажигания, упрощается ее обслуживание, повышаются надежность работы контактов прерывателя и их эксплуатационная долговечность Облегчается запуск двигателя в любую погоду, особенно при пользовании рукояткой, а также обеспечивается работа двигателя на самых малых оборотах холостого хода.

На примере описанных систем видно, что даже частичное использование преимуществ транзисторной системы зажигания целесообразно и может служить основанием для внедрения таких систем в жизнь.

БЕСКОНТАКТНАЯ ТРАНЗИСТОРНАЯ СИСТЕМА ЗАЖИГАНИЯ

Дальнейшим развитием транзисторной системы зажигания является исключение механического прерывателя тока и замена его электромагнитным синхронизатором. Отсутствие механического прерывателя исключает необходимость периодической регулировки системы зажигания, очистки и замены контактов прерывателя и повышает надежность работы системы зажигания.

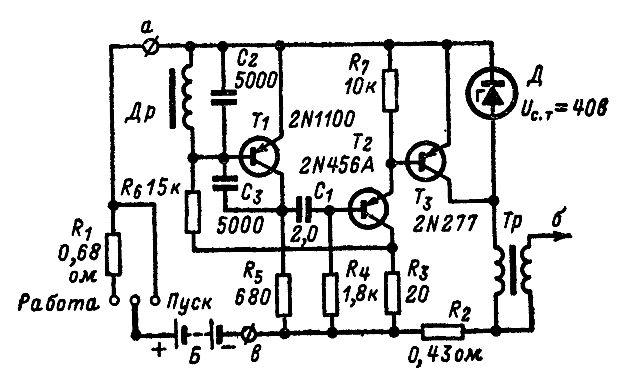


Рис. 10. Бесконтактная транзисторная система.

Генерирование импульсов для синхронизации момента зажигания осуществляется магнитным синхронизатором. При замыкании магнитного потока в катушке датчика возникает импульс, синхронизирующий работу транзисторной системы зажигания. Таким образом, операция прерывания тока контактами прерывателя в электромеханической системе зажигания заменена здесь операцией замыкания магнитного потока в синхродатчике.

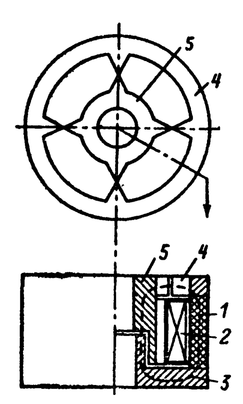


Рис. 11. Конструкция датчика синхронизирующих импульсов.

Принципиальная схема бесконтактной транзисторной системы зажигания приведена на рис. 10. При подаче на схему напряжения питания транзистор T_2 открывается, так как на его базу через резистор R_4 подается отрицательное смещение. Транзистор T_3 тоже отпирается, и его коллекторный ток протекает через первичную обмотку катушки зажигания *Тр*. Транзисторы T_1 и T_2 образуют одновибратор, в цепь обратной связи которого включен резистор R_6. При отпертом транзисторе T_2 напряжение на базе транзистора T_1 недостаточно для его отпирания, так как база транзистора T_1 практически накоротко соединена с плюсовой шиной через обмотку *Др*, имеющую незначи-

тельное по сравнению с резистором R_6 сопротивление постоянному току. Левая обкладка времязадающего конденсатора C_1 одновибратора имеет потенциал минусовой шины, так как транзистор T_1 полностью заперт, а правая обкладка — потенциал базы транзистора T_2, близкий к потенциалу положительной шины

При прокручивании вала двигателя на обмотке датчика возникает импульс отрицательной полярности в тот момент, когда сопротивление магнитному потоку в нем минимально. С обмотки датчика *Др* импульс поступает на базу транзистора T_1, отпирая его Одновибратор переходит в неустойчивое состояние, при котором транзистор T_2 заперт, и на резисторе R_7 возникает импульс положительной полярности. Длительность этого импульса определяется постоянной времени R_4C_1 одновибратора. Импульс с резистора R_7 запирает ключевой транзистор T_3, через который протекает ток первичной обмотки катушки зажигания *Тр*, что приводит к появлению высоковольтного импульса зажигания в ее вторичной обмотке.

Стабилитрон *Д* предохраняет ключевой транзистор от бросков напряжения на первичной обмотке катушки зажигания, которые могут превысить допустимое для транзистора значение. Конденсаторы C_2 и C_3 служат для сглаживания бросков напряжения, которые могут превысить допустимое для транзистора T_1 значение.

На рис 11 показана конструкция датчика синхронизирующих импульсов. Внутри неподвижно установленного кольцевого магнита *1* расположена обмотка *2*, напряжение на зажимах которой используется в качестве синхронизирующего импульса. Торцовые части кольцевого магнита приклеены к накладкам *3* и *4*, изготовленным из магнитомягкого материала. Если синхронизатор предназначен для четырехцилиндрового двигателя, то кольцевая накладка *4* имеет на внутренней поверхности четыре зуба. Ротор *5* изготовлен из магнитомягкого материала и имеет вид втулки с зубчатым фланцем. Количество и расположение зубцов фланца должно в точности соответствовать количеству и расположению зубцов статорной части датчика. При вращении ротора периодически происходит совмещение зубцов роторной и статорной частей датчика. В моменты совмещения зубцов резко уменьшается сопротивление цепи, по которой происходит замыкание магнитного потока кольцевого магнита (пунктирная линия на рис. 11), при этом магнитный поток возрастает, что приводит к появлению на зажимах катушки импульса напряжения. Таким образом, синхронизирующие импульсы генерируются датчиком в те моменты, когда совмещаются зубцы ротора и статора. При дальнейшем повороте ротора воздушный зазор между ротором и статором увеличивается за счет расхождения зубцов, магнитный поток прерывается и напряжение на зажимах катушки отсутствует.

Датчик синхронизирующих импульсов располагается в корпусе стандартного распределителя зажигания автомобиля на том месте, которое освобождается при удалении кулачка и контактов прерывателя. Ротор 5 устанавливается на вал распределителя вместо кулачка Статорная часть датчика устанавливается на плате, освобожденной от контактов прерывателя, так что вакуумная и центробежная коррекция момента опережения зажигания осуществляются таким же способом, как и в электромеханической системе зажигания Взаимное расположение ротора и статора подбирается и фиксируется так, чтобы моменты совпадения зубцов ротора и статора соответствовали моментам, в которые должны быть сформированы импульсы

зажигания. Однажды отрегулированное, это устройство не требует в дальнейшем какой-либо проверки или регулировки.

Испытания описанной системы показали ее высокую надежность. При испытании партии таких устройств в течение 100 000 *ч* (суммарное время), что соответствует суммарному пробегу 1,6 млн. *км*, выход транзисторов из строя составил 0,8%, причем в 2/3 случаев выход из строя объяснялся неправильной установкой прибора Таким образом, естественный выход из строя произошел примерно в 0,25% случаев.

Серийно выпускаемой системой зажигания, выполненной по такой схеме, оборудованы легковые автомобили одной из ведущих зарубежных автомобильных фирм.

ЭЛЕКТРОННОЕ ЗАЖИГАНИЕ С АВТОМАТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ УГЛА ОПЕРЕЖЕНИЯ

Для достижения максимальной эффективности вспышки горючей смеси в цилиндре двигателя внутреннего сгорания момент поджига горючей смеси должен опережать момент достижения поршнем так называемой «верхней мертвой точки», при этом величина

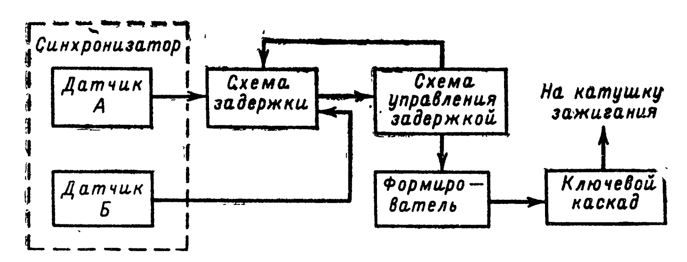


Рис. 12. Блок-схема электронной системы опережения зажигания.

необходимого опережения пропорциональна числу оборотов вала двигателя. Обычно опережение зажигания устанавливается автоматически специальной механической системой регулирования. Электронная система опережения значительно проще, надежнее и дешевле механической и имеет лучшие характеристики, чем достигается хорошее качество работы двигателя во всех режимах.

На рис. 12 приведена блок-схема электронной системы опережения зажигания. С синхронизатора, состоящего из датчиков максимального угла опережения *А* и минимального угла опережения *Б*, импульсы синхронизации поступают на схему задержки. Эта схема управляется сигналом, получаемым с датчика синхронизирующих импульсов. Импульс, получаемый со схемы задержки, расширяется формирователем и подается на ключевой каскад, управляющий током первичной обмотки катушки зажигания.

Схема, поясняющая работу синхронизатора, предназначенного для шестицилиндрового двигателя, приведена на рис. 13, *а*. По

окружности вала распределителя устанавливают на равном расстоянии друг от друга три постоянных магнита *М*. На корпусе двигателя устанавливают два неподвижных датчика синхронизирующих импульсов (*А* и *Б*). В качестве датчика используют катушки с сердечниками из магнитомягкого материала. Датчик *А* сдвинут относительно верхней мертвой точки в сторону опережения (против часовой стрелки) на угол, несколько превышающий максимально возможный угол опережения зажигания двигателя. Обычно этот угол составляет примерно 60°.

Датчик *Б* сдвинут в сторону опережения на угол, равный наименьшему углу опережения зажигания, необходимому для двигателя при пуске, который составляет 7°.

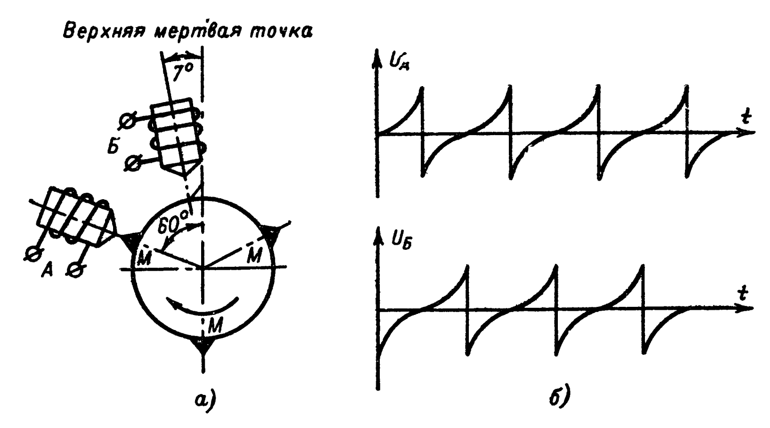


Рис. 13. Принцип синхронизации электронного опережения зажигания.

Таким образом, внутри сектора, ограниченного датчиками *А* и *Б*, расположены все возможные значения углов опережения зажигания, обеспечивающие нормальную работу двигателя при всех режимах: пуск, холостой ход и максимальные обороты.

Установка необходимого угла опережения зажигания осуществляется путем задержки синхронизирующего импульса от датчика *А* до момента, соответствующего углу опережения при данном режиме работы двигателя. За один оборот вала датчики сихронизирующих импульсов дают три пары импульсов, ограничивающих сектор углов опережения зажигания. Форма синхронизирующих импульсов с датчиков *А* и *Б* показана на рис. 13, *б*.

Принципиальная схема электронной системы опережения зажигания приведена на рис. 14.

Транзисторы T_1 и T_3 образуют одновибратор В исходном состоянии транзистор T_3 отперт благодаря отрицательному смещению, поступающему на его базу с коллектора транзистора T_4. Транзистор T_4 заперт, и напряжение на его коллекторе равно нулю. Напряжение на времязадающем конденсаторе C_1 равно разности напряжения источника питания и напряжения смещения транзистора T_3.

При поступлении на гнезда $Г_1$ импульса с датчика *А* транзис-

тор T_1 отпирается отрицательной частью этого импульса. Положительный выброс шунтируется диодом $Д_1$ для предохранения перехода база — эмиттер транзистора T_1 от пробоя. Усиленный импульс с коллектора транзистора T_1 через конденсатор C_1 поступает на базу транзистора T_3, запирая его. Одновибратор переходит в неустойчивое состояние, длительность которого определяется временем, необходимым для перезарядки конденсатора C_1 через резистор R_8. Это время находится в прямой зависимости от напряжения, до которого был заряжен конденсатор, когда одновибратор находился в устой-

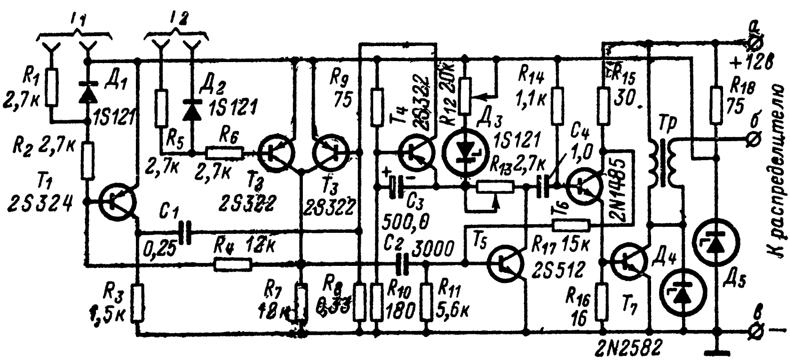


Рис. 14 Электронная система опережения зажигания.

чивом состоянии. Напряжение, имеющееся в начальный момент перезарядки на конденсаторе C_1, при отпирании транзистора T_1 оказывается приложенным между базой и эмиттером транзистора T_3 и поддерживает его в запертом состоянии. По мере разряда конденсатора C_1 запирающее напряжение на базе транзистора T_3 уменьшается, и, когда оно достигает значения напряжения отпирания, транзистор T_3 отпирается и одновибратор снова переходит в устойчивое состояние.

Таким образом, длительность неустойчивого состояния одновибратора определяется при выбранной постоянной времени R_8C_1 напряжением смещения транзистора T_3

При переходе одновибратора в устойчивое состояние на коллекторе транзистора T_3 возникает положительный перепад напряжения, который дифференцируется цепочкой C_2R_{11}. Образующийся положительный импульс используется для запуска формирователя импульса зажигания на транзисторах T_5 и T_6. Таким образом, одновибратор играет роль схемы задержки синхронизирующего импульса с датчика A, причем величина задержки определяется напряжением смещения транзистора T_3, а задержанный импульс формируется задним фронтом импульса одновибратора.

Напряжение смещения транзистора T_3 снимается с формирователя импульса зажигания Формирователь выполнен по схеме одновибратора на транзисторах T_5 и T_6. В устойчивом состоянии транзистор T_5 заперт, а транзистор T_6 отперт из-за отрицательного напряжения смещения, возникающего на резисторе R_{15}. При поступлении на базу транзистора T_5 задержанного синхронизирующего им-

пульса датчика транзистор T_5 отпирается, его импульс поступает через конденсатор C_4 на базу транзистора T_6, который запирается, и одновибратор переходит в неустойчивое состояние. Длительность этого состояния определяется постоянной времени цепочки $R_{14}C_4$. На время неустойчивого состояния одновибратора напряжение на эмиттере транзистора T_6 становится равным нулю, в результате чего запирается ключевой транзистор T_7. Ток через первичную обмотку катушки зажигания *Тр* прекращается, и происходит образование искры между электродами свечи.

Напряжение на конденсаторе C_3, приложенное между базой и эмиттером транзистора T_4, управляет его коллекторным током. Это напряжение зависит от среднего значения коллекторного тока транзистора T_5, которое пропорционально частоте следования синхронизирующих импульсов, а последняя в свою очередь пропорциональна числу оборотов вала двигателя. Таким образом, с увеличением числа оборотов вала двигателя увеличивается напряжение на конденсаторе C_3 и уменьшается задержка синхронизирующего импульса, что приводит к увеличению угла опережения зажигания.

Чтобы исключить влияние колебаний напряжения питания на величину напряжения на конденсаторе C_3, в коллекторную цепь транзистора T_5 включен стабилитрон $Д_5$. Резистор R_{12} является балластным, и его сопротивление определяет начальный коллекторный ток транзистора T_5.

При пуске и работе на холостых оборотах угол опережения зажигания должен быть минимальным (около 7°). Такой угол получается благодаря синхронизирующему импульсу с датчика *Б*, имеющему фиксированную задержку относительно синхронизирующего импульса датчика *А*. Синхронизирующий импульс с датчика *Б* поступает на гнезда $Г_2$ и через резисторы R_5 и R_6 на базу транзистора T_2, имеющего общую коллекторную нагрузку с транзистором T_3. Диод $Д_2$ шунтирует положительный выброс импульса.

Если транзистор T_3 в момент поступления синхронизирующего импульса с датчика *Б* заперт (одновибратор на транзисторах T_1 и T_2 находится в неустойчивом состоянии), то в результате отпирания транзистора T_2 на общем коллекторном резисторе R_7 образуется положительный импульс. Через резистор R_4 он поступает на базу транзистора T_1 и запирает его, в результате чего одновибратор переходит в устойчивое состояние. Одновременно через конденсатор C_2 этот импульс запускает формирователь на транзисторах T_5 и T_6.

Все транзисторы (кроме T_4) работают в режиме насыщения, чем достигается высокая надежность и устойчивость работы схемы в широком диапазоне температур

Соответствие регулировочной характеристики устройства требуемой зависимости изменения угла опережения зажигания от количества оборотов вала двигателя достигается с помощью переменных резисторов R_{12} и R_{13}. При минимальных оборотах вала двигателя (1 000 *об/мин*) с помощью резистора R_{12} устанавливается задержка синхронизирующего импульса от датчика *А*, соответствующая углу опережения 10°. Затем при больших оборотах вала двигателя подбирается сопротивление резистора R_{13} таким, чтобы величина задержки соответствовала углу опережения зажигания 35°.

Изменение температуры окружающей среды в пределах от 0 до 70° С приводит лишь к незначительной погрешности установки угла опережения зажигания, так как напряжение питания стабилизировано стабилитроном $Д_5$.

При использовании описанного устройства в двигателе, количество цилиндров которого отлично от шести, следует соответственно изменить расстановку датчиков *А* и *Б*, а также количество и расположение магнитов на валу двигателя.

КОНДЕНСАТОРНЫЕ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Принципиально новым путем решается задача накопления энергии в так называемой конденсаторной системе зажигания, развитие которой обязано появлению тиристоров — кремниевых

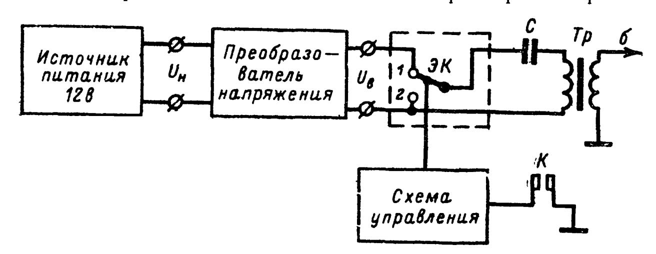


Рис. 15 Блок-схема конденсаторной системы зажигания.

управляемых вентилей, предназначенных для работы в качестве ключевых элементов.

Блок-схема конденсаторной системы зажигания приведена на рис. 15. Как видно из блок-схемы, конденсаторная система зажигания состоит из источника питания, преобразователя, электронного ключа *ЭК*, схемы управления электронным ключом, накопительного конденсатора *С* и катушки зажигания *Тр*.

В преобразователе низкое постоянное напряжение источника питания $U_н$ преобразуется в высокое постоянное напряжение $U_в$, достигающее нескольких сотен вольт. Этим напряжением через цепь: электронный ключ *ЭК* (который в это время находится в положении *1*) — катушка зажигания *Тр* заряжается конденсатор *С*. Далее в момент размыкания контактов прерывателя система управления переводит электронный ключ в положение *2* и конденсатор начинает разряжаться на катушку зажигания. При этом накопленная на конденсаторе энергия трансформируется в катушке зажигания и обеспечивает искрообразование в свече двигателя.

Принципиальным отличием этой системы от вышеизложенных является то, что энергия, необходимая для искрообразования, накапливается не в магнитном поле катушки зажигания, а в электрическом поле конденсатора. Как известно, энергия, накопленная в конденсаторе, может быть вычислена по формуле

$$W_C = \frac{CU^2}{2},$$

где *С* — емкость конденсатора; *U* — напряжение на конденсаторе.

Зная энергию искрообразования в электромеханической системе зажигания, всегда можно рассчитать параметры конденсаторной системы таким образом, чтобы запасаемая в ней энергия была такой же или даже больше.

Как уже указывалось, в электромеханической системе зажигания максимальный ток первичной обмотки составляет около 4 *а.* При индуктивности первичной обмотки 10 *мгн* накопленная в магнитном поле такой катушки энергия составляет:

$$W_L = \frac{4^2 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{2} = 0{,}08\ вт \cdot сек.$$

В транзисторной системе, где ток первичной обмотки катушки зажигания увеличен, например, до 7 *а,* а индуктивность составляет 3,8 *мгн,* эта энергия составляет:

$$W_L = \frac{7^2 \cdot 3{,}8 \cdot 10^{-3}}{2} = 0{,}093\ вт \cdot сек.$$

Однако, как видно из графика, приведенного на рис. 6 (кривая *3*), ток в первичной обмотке катушки зажигания с увеличением числа оборотов вала двигателя падает, а соответственно падает и накапливаемая энергия. Из практики, известно, что энергия в 0,03 *вт·сек* является минимальной энергией, обеспечивающей бесперебойную работу системы зажигания. Если произвести расчеты, воспользовавшись данными из графика на рис. 6, то мы видим, что хотя при запуске имеется запас энергии, на максимальных оборотах в электромеханической системе зажигания эта энергия настолько уменьшается, что ее не хватает для бесперебойной работы двигателя. Конденсаторные системы зажигания проектируются таким образом, чтобы за каждый цикл искрообразования накопительный конденсатор успевал заряжаться до напряжения высоковольтного источника питания и, таким образом, энергия, запасаемая в электрическом поле этого конденсатора, практически остается постоянной при любых оборотах двигателя.

Для примера рассмотрим случай, когда индуктивность катушки зажигания составляет 12 *мгн,* а для накопления энергии используется конденсатор емкостью 2 *мкф.*

Резонансная частота колебательного контура, образованного накопительным конденсатором и катушкой зажигания, при указанных значениях индуктивности и емкости составляет примерно 1 *кгц* и время одного периода равно 1 *мсек.* Как будет показано, в момент размыкания контактов прерывателя тиристор включается, а через полпериода (0,5 *мсек*) выключается, причем это время определяется исключительно параметрами колебательного контура.

Время подзаряда накопительного конденсатора, определяемое выходным сопротивлением преобразователя и емкостью накопительного конденсатора, может быть доведено до 2 *мсек* и будет тем меньше, чем мощнее преобразователь.

При использовании преобразователя с высоким сопротивлением вторичной обмотки и выпрямителем на кремниевых диодах постоянная времени подзаряда накопительного конденсатора увеличивается. В этом случае емкость конденсатора надо уменьшить, соответственно увеличивая напряжение преобразователя таким образом, чтобы сохранить неизменной энергию искрообразования. При скорости вра-

щения вала двигателя 6 000 *об/мин* вал распределителя вращается со скоростью 3 000 *об/мин*, или 50 *об/сек*, что составляет 20 *мсек* на один оборот распределителя, и при четырехцилиндровом двигателе длительность цикла искрообразования равна 5 *мсек*. Если из этого времени вычесть время, в течение которого тиристор включен (0,5 *мсек*), то для подзаряда накопительного конденсатора остается 4,5 *мсек*. Для восьмицилиндрового двигателя, где время между периодами искрообразования равняется 2,5 *мсек*, из которых те же 0,5 *мсек* уходят на переключение тиристора, условия полного заряда также выполняются. При меньшей скорости двигателя длительность

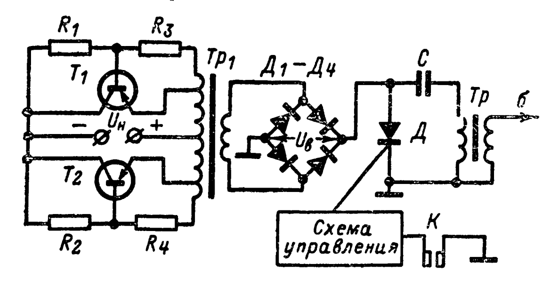


Рис 16 Конденсаторная система зажигания.

цикла увеличивается. Таким образом, независимо от скорости двигателя конденсатор в такой системе всегда полностью заряжается, а энергия искрообразования остается постоянной.

Принципиальная схема конденсаторной системы зажигания с электронным ключом на кремниевых управляемых вентилях — тиристорах приведена на рис. 16. Схема управления на ней показана условно, так как она может иметь различные варианты исполнения, которые будут рассмотрены ниже.

Преобразователь напряжения собран на транзисторах T_1 и T_2, трансформаторе $Тр_1$, резисторах R_1—R_4 и диодах $Д_1$—$Д_4$. Напряжение $U_в$ на выходе преобразователя выбирается таким, чтобы при максимальном напряжении источника не происходило включения тиристора *Д* под воздействием приложенного к нему напряжения Конденсатор *C* заряжается до этого напряжения, так как тиристор в это время не проводит. В момент размыкания контактов прерывателя на тиристор со схемы управления подается запускающий импульс, и он включается. При этом одновременно происходят два процесса Во-первых, тиристор замыкает накоротко выход преобразователя, под воздействием возросшей нагрузки колебания генератора в преобразователе срываются и напряжение на выходе преобразователя становится равным нулю. Во-вторых, конденсатор оказывается присоединенным к первичной обмотке катушки зажигания и запасенная в его электрическом поле энергия передается в катушку зажигания

Процесс протекает следующим образом В момент t_1 (рис. 17) за время около 2 *мксек* напряжение на первичной обмотке катушки зажигания возрастает до напряжения, которым был заряжен конденсатор В связи с тем, что постоянная времени выходной цепи при

применяемых в электромеханических системах катушках зажигания больше постоянной времени первичной цепи (за счет влияния емкости вторичной цепи и индуктивности рассеяния первичной цепи), время нарастания напряжения в выходной цепи составляет примерно 15 *мсек* и зажигание горючей смеси происходит в момент t_2. В цепи разряда конденсатора образуется резонансный контур, в котором возникает колебательный процесс с частотой, определяемой емкостью накопительного конденсатора и индуктивностью первичной обмотки катушки зажигания. В результате колебательного процесса неизрасходованная энергия из катушки зажигания возвращается в конденсатор.

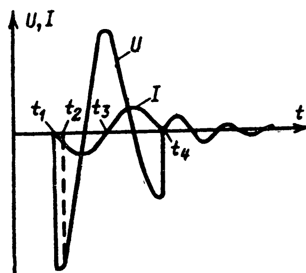


Рис. 17. График изменения напряжения и тока в катушке зажигания.

Разрядный ток конденсатора, проходя через тиристор и первичную обмотку катушки зажигания, создает в ней магнитный поток. Вызванный магнитным полем катушки зажигания ток продолжает течь в цепи, пока конденсатор не зарядится в противоположной полярности до напряжения несколько меньшего, чем первоначальное. С момента t_3 направление тока, который отстает на 90° от напряжения в первичной цепи, изменяется и тиристор выключается. Однако преобразователь напряжения все еще не может запуститься, так как ток контура теперь протекает через диоды $Д_1$—$Д_4$ в прямом направлении и трансформатор преобразователя оказывается зашунтированным этими диодами. Оставшаяся энергия сохраняется в цепи, и протекающий в ней ток сначала разряжает конденсатор до нуля, а затем заряжает вновь, причем полярность напряжения на его обкладках первоначальная.

Когда ток в первичной обмотке катушки зажигания упадет до нуля, восстанавливается нормальная работа преобразователя и он начинает дозаряжать конденсатор (момент t_4).

Рассмотрим несколько подробней отдельные элементы конденсаторной системы зажигания и требования, предъявляемые к ним.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ

В конденсаторной системе зажигания может быть использован преобразователь, в основу которого положен любой генератор с самовозбуждением и трансформаторной связью. Однако из практических соображений предпочтение следует отдать двухтактным преобразователям, в которых используется генератор, собранный по схеме с общим коллектором. В этом случае корпуса транзисторов, с которыми обычно соединен коллекторный вывод, могут быть непосредственно установлены на общем радиаторе, не изолированном от корпуса прибора. Это допустимо для систем электропитания, в которых отрицательный полюс батареи соединен с корпусом. В случае соединения с корпусом положительного полюса источника питания радиатор с закрепленными на нем транзисторами необходимо изолировать от корпуса.

Одной из характерных особенностей преобразователей с самовозбуждением является то, что при коротком замыкании в цепи нагрузки напряжение на обмотках трансформатора падает почти до нуля и колебания в генераторе срываются. Однако в этом случае ток через транзисторы кратковременно может в несколько раз превышать рабочее значение. В связи с этим параметры трансформатора и транзисторов должны выбираться с запасом. Практически трехчетырехкратный запас по току в трансформаторе и транзисторах обеспечивает отсутствие повреждений в схеме при ее работе в реальных условиях

Принципиальная схема преобразователя напряжения, собранного по схеме с общим коллектором, показана на рис. 16.

Напряжение питания $U_н$, приложенное к коллекторам транзисторов и средней точке обмотки трансформатора $Тр_1$, вызывает ток, который протекает по параллельно соединенным цепям, состоящим из резисторов R_1—R_4 и транзисторов T_1 и T_2.

Вследствие разброса параметров резисторов и транзисторов в одной половине первичной обмотки трансформатора ток будет несколько большим, чем в другой. Предположим, что в верхней половине первичной обмотки ток несколько больший, чем в нижней. В этом случае падение напряжения на обмотках обратной связи, к концам которых подключены резисторы R_3 и R_4, стремится отпереть транзистор T_1 и запереть транзистор T_2. Это приводит к увеличению тока через верхнюю половину обмотки трансформатора. Дальнейшее увеличение тока, происходящее лавинообразно, приведет к тому, что транзистор T_1 отопрется, а транзистор T_2 запрется. Транзистор T_1 будет отперт до тех пор, пока магнитный поток в сердечнике трансформатора не достигает насыщения. Так как при этом скорость изменения магнитного потока становится очень малой, то э. д. с. в обмотках трансформатора также значительно уменьшится. Происходящее при этом резкое уменьшение тока вызывает появление в обмотках э. д с. противоположной полярности, которая запирает транзистор T_1 и отпирает транзистор T_2 Вследствие малого времени переключения транзисторов T_1 и T_2 напряжение на каждой половине обмотки трансформатора имеет прямоугольную форму.

Во вторичной обмотке трансформатора $Тр_1$ индуцируется переменное напряжение, выпрямляемое затем двухполупериодным выпрямителем на диодах $Д_1$—$Д_4$ Напряжение на выходе преобразователя $U_в$ составляет 250—400 *в*

Приведенное описание принципа действия преобразователя предполагает, что коллекторный ток используемых в генераторе транзисторов достаточен для насыщения сердечника трансформатора, хотя принципиально генератор может работать и в режиме, при котором максимальный коллекторный ток не вызывает насыщения сердечника. Однако такого режима следует избегать, так как тогда генератор работает менее устойчиво и преобразователь становится менее экономичным Подробно с принципом работы и расчетом преобразователей можно познакомиться в специальной литературе [Л.3].

Практически наиболее подходящими для работы в преобразователе являются транзисторы П210 и П210А. В случае их отсутствия могут быть использованы транзисторы и других типов, например П4Б, П209, П209А, П217 и др

Резисторы R_1 и R_2, которые служат для подачи начального смещения на базы транзисторов T_1 и T_2, необходимы для надежного запуска преобразователя и в зависимости от параметров используемых

транзисторов могут иметь сопротивления от 200 *ом* до 1,5 *ком.* Следует иметь в виду, что для транзисторов с большим коэффициентом усиления по току можно брать большие сопротивления, при этом экономичность преобразователя возрастает. Резисторы R_3 и R_4, ограничивающие базовый ток транзисторов T_1 и T_2, должны иметь сопротивление около 20 *ом.* Диоды $Д_1$—$Д_4$ рассчитываются на рабочее напряжение, используемое для заряда накопительного конденсатора, и должны выдерживать воздействие импульсных нагрузок, которые возникают при замыкании накоротко выхода преобразователя тиристором в момент его включения. Теоретически лучше использовать германиевые диоды, так как они имеют меньшее внутреннее сопротивление и импульсную мощность, рассеиваемую на них. Однако из-за своих высоких эксплуатационных характеристик с успехом могут быть использованы и кремниевые диоды. Хорошие результаты получены при использовании диодов Д7Ж, Д205, Д226.

В случае самостоятельного расчета преобразователя необходимо иметь в виду, что напряжение на его выходе не должно превышать рабочего напряжения используемого тиристора при наибольшем напряжении в первичной цепи, которое на максимальных оборотах вала двигателя может достигать 14—16 *в.*

СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Схемы управления, используемые в конденсаторных системах зажигания, служат для формирования запускающего импульса на управляющем электроде тиристора, который должен подаваться в момент размыкания контактов прерывателя. Схема должна формировать импульсы достаточной для включения тиристора амплитуды и длительности при различных условиях эксплуатации и обеспечивать получение только одного запускающего импульса при наличии некоторого «дребезга» контактов прерывателя. Возможность запуска схемы в момент замыкания контактов прерывателя должна быть полностью исключена.

Рассмотрим принцип действия некоторых схем управления, наиболее часто употребляемых в конденсаторных системах зажигания.

Одна из простейших схем, получивших признание в любительской практике, приведена на рис. 18, *а*. При замкнутых контактах *К* прерывателя конденсатор разряжается на резистор R_2 и напряжение на нем равно нулю. В это время тиристор после цикла искрообразования закрыт. При размыкании контактов прерывателя за счет зарядного тока конденсатора C_1 на управляющий электрод тиристора подается короткий положительный импульс, который переводит его во включенное состояние. В практической схеме величины элементов следующие. Сопротивление резистора R_1 равно 100 *ом* для источника питания 6 *в* и 200 *ом* — для 12 *в*. Емкость конденсатора C_1 равна 3 000 *пф*. Диод $Д_1$ типа Д9Е. Сопротивление резистора R_2, от которого зависит надежная работа системы при наибольших оборотах, подбирается в зависимости от типа тиристора и может быть в пределах от 700 *ом* до 10 *ком* Выбор тиристора для таких систем описан ниже.

На рис. 18, *б* представлена схема, в принципе аналогичная предыдущей, но предотвращающая за счет введения фильтра нижних частот паразитные запуски из-за «дребезга» контактов прерывателя В этой схеме запуск тиристора осуществляется током заряда конденсатора C_2. При разомкнутых контактах прерывателя зарядный ток

проходит через цепь: плюс источника питания — резистор R_1 — диод $Д_1$ — конденсатор C_2 — резистор R_3 — управляющий электрод тиристора $Д_2$ — катод тиристора $Д_2$ — минус источника питания. При замыкании контактов прерывателя $К$ конденсатор C_2 разряжается на резисторы R_2, R_3 и R_4 Конденсатор C_1 играет роль фильтра, предупреждающего случайное включение тиристора. В практических схемах использовались следующие величины элементов. Сопротивление резистора R_1 равно 65 *ом* (33 *ом*). В скобках указываются величины элементов для напряжения источника питания 6 *в* Сопротив-

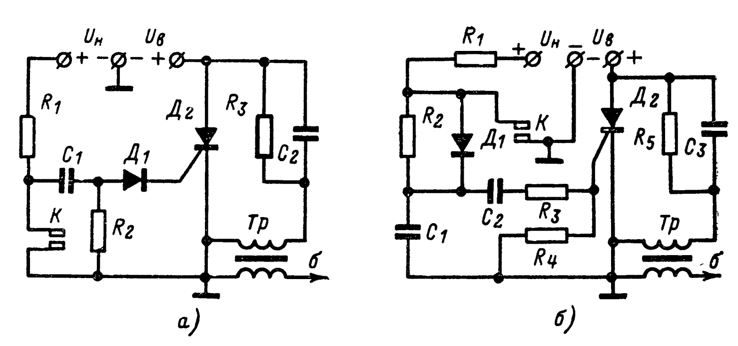


Рис. 18. Схема управления с использованием зарядного тока конденсатора (*а*) и с использованием фильтра низких частот (*б*).

ление резисторов: R_2 — 1,6 *ком* (1 *ком*); R_3 — 33 *ом* (27 *ом*); R_4 — 150 *ом* (100 *ом*). Диод $Д_1$ типа Д202. Емкости конденсатора C_1 — 0,1 *мкф* (0,05 *мкф*), а C_2 — 0,5 *мкф* (0,22 *мкф*).

На рис. 19, *а* представлена принципиальная схема системы управления на диодах, которая может быть использована при соединении корпуса автомобиля с отрицательным полюсом источника питания.

Предположим, что в начальный момент времени контакты прерывателя $К$ разомкнуты. Тогда с делителя, состоящего из диода $Д_2$ и резистора R_1, на управляющий электрод тиристора $Д_1$ подается отрицательное запирающее напряжение, которое предохраняет тиристор от запуска каким-либо случайным импульсом в цепи управляющего электрода. Диод $Д_2$ ограничивает запирающее напряжение примерно на уровне 0,6—0,7 *в*. При этом напряжение на конденсаторе C_2 равно нулю, так как он разряжается через диод $Д_4$ и резистор R_4, а конденсатор C_1 заряжается до напряжения, близкого к $U_в$.

При замыкании контактов прерывателя конденсатор C_2 заряжается через диод $Д_2$ и резистор R_3 до напряжения, близкого к $U_н$. Так как тиристор может запускаться импульсами тока очень малой длительности, то постоянная времени заряда конденсатора C_2 выбрана равной 1 *мсек*, чтобы избежать возможности возникновения дополнительного запускающего импульса из-за «дребезга» контактов прерывателя после их замыкания

При размыкании контактов прерывателя напряжение, до которого заряжен конденсатор C_2, оказывается приложенным через диод $Д_4$ и резистор R_6 между катодом и управляющим электродом (плюсом

к управляющему электроду). Благодря этому тиристор отпирается и конденсатор C_1 разряжается через отпертый тиристор на первичную обмотку катушки зажигания *Тр*, что сопровождается процессами, описание которых было приведено выше (см. рис. 17). Резистор R_5 и диоды $Д_3$ и $Д_5$ пропускают отрицательный импульс тока от катушки зажигания, который полностью заряжает конденсатор C_2 в противоположной полярности вслед за срабатыванием тиристора. При этом напряжение на управляющем электроде тиристора достигает своего первоначального отрицательного значения 0,6—0,7 *в* примерно через 100 *мксек*.

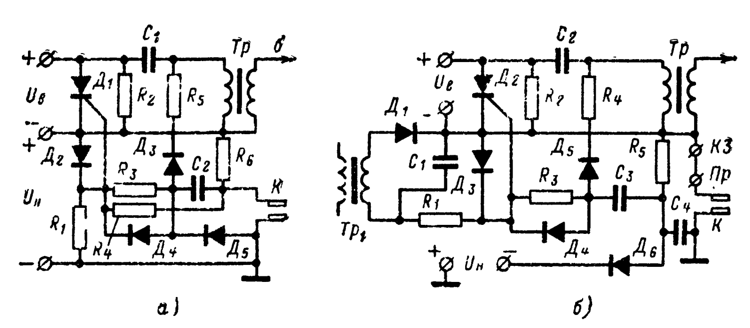


Рис. 19. Схема управления на диодах для системы электропитания с минусом (*а*) и с плюсом на корпусе (*б*).

Таким образом, получается запускающий импульс положительной полярности длительностью 100 *мксек*, благодаря чему обеспечивается образование лишь одной искры после размыкания контактов прерывателя. Резистор R_2 служит для разряда конденсатора C_1 после выключения питания системы зажигания, предохраняя от поражения током при обслуживании системы. Сопротивление резистора R_6 определяет ток через контакты прерывателя.

В тех случаях, когда с корпусом двигателя соединен плюс аккумуляторной батареи, такая схема управления несколько видоизменяется и принимает вид, изображенный на рис. 19, *б*. Ее отличительной особенностью является то, что запирающее напряжение на тиристор $Д_2$ снимается с дополнительной обмотки, намотанной на транформаторе преобразователя $Тр_1$ Напряжение 12 *в* с этой обмотки выпрямляется диодом $Д_1$ и через резистор R_1 подается на управляющий электрод тиристора $Д_2$, причем диод $Д_3$ ограничивает это напряжение на уровне 0,6—0,7 *в*. При замыкании контактов прерывателя *К* конденсатор C_3 заряжается почти до напряжения $U_н$ через цепочку: плюс батареи $U_н$ — контакты прерывателя *К* — диод $Д_5$ — резистор R_3 — диод $Д_6$ — минус батареи $U_н$ Резистор R_3 ограничивает ток заряда конденсатора C_3 и предотвращает влияние «дребезга» контактов прерывателя при размыкании При размыкании контактов прерывателя напряжение на конденсаторе C_3 оказывается приложенным к управляющему электроду тиристора $Д_2$ через диод $Д_4$, после чего тиристор отпирается. В остальном работа схемы аналогична предыдущей.

В практической реализации данные элементов следующие: диоды $Д_1$ — Д223; $Д_2$ — УД63К; $Д_3$ — Д223; $Д_4$ — Д223; $Д_5$ — Д211; $Д_6$ — Д202; резисторы R_1 — 2,7 *ком*; R_2 — 330 *ком*; R_3 — 1,2 *ком*; R_4 — 1,2 *ком*, (все 0,25 *вт*); R_5 — 75 *ом*, 5 *вт*; конденсаторы C_1 — 30 *мкф*, 25 *в*; C_2 — 1 *мкф*, 750 *в*; C_3 — 1 *мкф*, 160 *в*; C_4 — 30 *мкф*, 25 *в*.

Дополнительная обмотка на трансформаторе преобразователя $Тр_1$ наматывается проводом ПЭВ-2 диаметром 0,12 *мм* и имеет такое же количество витков, что и первичные обмотки, т. е. с нее снимается напряжение порядка 12 *в*.

На рис. 20, *а* представлена принципиальная схема системы управления с использованием транзистора, которая работает следующим образом.

При замкнутых контактах прерывателя *К* потенциал эмиттера транзистора *Т*, задаваемый с делителя R_4, R_5, превышает потенциал

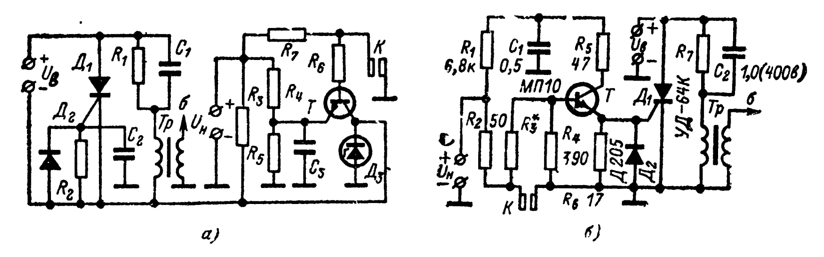


Рис. 20 Схема управления на транзисторе с плюсом на корпусе (*а*) и с минусом на корпусе (*б*). R^* подбирается при наладке.

базы транзистора и он заперт. При этом напряжение на коллекторе транзистора равно $U_н$ и конденсатор C_2 через диод $Д_2$ и включенный параллельно ему резистор R_2 заряжается до этого напряжения. При размыкании контактов прерывателя *К* через транзистор *Т* начинает протекать ток и напряжение на его коллекторе падает приблизительно до 3 *в*. Тогда напряжение конденсатора C_2 оказывается приложенным плюсом к управляющему электроду тиристора и он отпирается, замыкая цепь, соединяющую накопительный конденсатор C_1 с первичной обмоткой катушки зажигания *Тр*. Постоянные времени заряда и разряда конденсатора C_2 выбираются такими, чтобы исключить возможность срабатывания схемы при наличии «дребезга» контактов прерывателя. Стабилитрон $Д_3$ служит для защиты транзистора *Т* от импульсных напряжений, которые могут возникать в цепи его питания. Резистор R_6 определяет ток через контакты прерывателя Резистор R_1 служит для разряда конденсатора C_1 после выключения схемы. Номиналы элементов схемы приведены на рис 37.

Недостатком трех последних схем управления является то, что выход преобразователя должен быть изолирован от корпуса, что создает трудности при конструировании и изготовлении подобных систем.

На рис. 20, *б* приведена схема управления на транзисторе, которая лишена отмеченного недостатка. При замкнутых контактах прерывателя *К* транзистор *Т* заперт и управляющий электрод тиристора $Д_1$ находится практически под нулевым потенциалом. В это вре-

мя конденсатор C_1 через резистор R_1 заряжается до напряжения, близкого к $U_н$. При размыкании контактов прерывателя через резисторы R_2 и R_3 начинает протекать ток, отпирающий транзистор T Это приводит к тому что напряжение, до которого заряжен конденсатор C_1 через резистор R_5, транзистор T и резистор R_6, оказывается приложенным между катодом и управляющим электродом тиристора $Д_1$ плюсом к управляющему электроду. Тиристор отпирается, и конденсатор C_2 разряжается на катушку зажигания Tp. После того как конденсатор C_1 полностью разрядится (постоянная времени разряда около 30 *мксек*), транзистор T продолжает проводить ток, который определяется теперь сопротивлением резистора R_1. Сопротивление этого резистора выбирается таким, чтобы напряжение на резисторе R_6 при максимальном напряжении источника питания не превышало напряжения запуска тиристора. Когда контакты прерывателя снова замкнутся, транзистор T запирается и конденсатор C_1 начинает заряжаться через резистор R_1

Постоянная времени заряда выбирается такой, чтобы время, через которое возможен повторный запуск тиристора $Д_1$ под воздействием импульса напряжения, возникающего за счет разряда конденсатора C_1, составляло около 1 *мсек*. Минимальное напряжение на конденсаторе C_1, при котором возможен запуск тиристора $Д_1$, должно составлять примерно 25% от напряжения $U_н$, благодаря чему достигается защита от «дребезга» контактов прерывателя. Сопротивление резистора R_3 выбрано таким, чтобы запуск тиристора $Д_1$ происходил при напряжении питания не ниже 7,5 *в*. Увеличением сопротивления резистора R_3 доводят базовый ток до минимума, при котором падение напряжения на резисторе R_6 составляет 0,1—0,2 *в*. В то же время ток через транзистор должен гарантировать надежный запуск тиристора в холодную зимнюю погоду, так как при низких температурах коэффициент усиления по току транзистора T уменьшается и, следовательно, амплитуда управляющего импульса, необходимая для запуска тиристора $Д_1$, должна быть больше. Диод $Д_2$ предохраняет управляющий электрод тиристора $Д_1$ от высоких отрицательных напряжений, которые могут возникать при работе.

Принципиально возможно коммутировать ток контактами прерывателя непосредственно на базе транзистора T Однако при практическом использовании такой способ коммутации себя не оправдал, так как запуск получается неудовлетворительным и зажигание осуществляется с перебоями Это объясняется тем, что как было показано выше, для увеличения долговечности контактов прерывателя требуется определенный оптимальный ток При очень малых рабочих токах контакты прерывателя быстро загрязняются, не обеспечивая надежного электрического соединения. При больших токах контакты прерывателя начинают подгорать. Таким образом, для нормальной работы контактов прерывателя требуются умеренные токи, которые устанавливаются с помощью резистора R_2 в пределах 0,25—1 *а*.

На рис. 21 представлена простейшая схема управления с трансформатором.

При замыкании контактов прерывателя K в цепи, состоящей из резистора R_2 и первичной обмотки трансформатора Tp_2, начинает протекать ток, максимальное значение которого определяется сопротивлением резистора R_2 и первичной обмотки трансформатора Tp_2 В момент замыкания контактов прерывателя K во вторичной обмотке трансформатора Tp_2 образуется импульс напряжения отрица-

тельной полярности, который шунтируется диодом $Д_2$ и не вызывает срабатывания тиристора $Д_1$. За счет возникающей при размыкании контактов прерывателя *К* э. д. с. самоиндукции во вторичной обмотке трансформатора $Тр_2$ возникает положительный импульс напряжения, вызывающий срабатывание тиристора $Д_1$ и подключающий заряженный накопительный конденсатор C_1 к катушке зажигания *Тр*.

При применении этой схемы необходимо обратить особое внимание на цепь, образуемую резистором R_2 и первичной обмоткой трансформатора $Тр_2$. Постоянная времени этой цепи выбирается такой, чтобы время накопления энергии в трансформаторе $Тр_2$, достаточной для запуска тиристора, составляло примерно 1 *мсек*. Это необходимо для того, чтобы ток в цепи первичной обмотки достигал максимального значения не мгновенно после замыкания контактов прерывателя, а спустя некоторое время, в течение которого возможен «дребезг» контактов прерывателя.

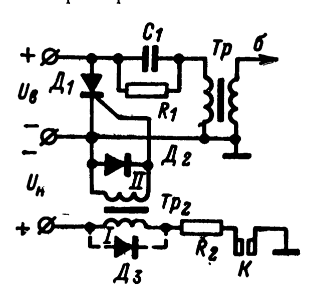


Рис. 21. Схема управления с трансформатором.

У малогабаритных импульсных трансформаторов с малой индуктивностью обмоток постоянная времени также мала и ток в первичной обмотке нарастает очень быстро, не обеспечивая защиту от «дребезга» контактов прерывателя. При использовании такого трансформатора в качестве трансформатора $Тр_2$ его первичную обмотку следует зашунтировать диодом $Д_3$ (на рис. 21 показан пунктиром). При этом происходит перераспределение токов между трансформатором и диодом. В первоначальный момент после замыкания контактов прерывателя индуктивное сопротивление первичной обмотки трансформатора $Тр_2$ велико и основной ток протекает через диод. Далее индуктивное сопротивление уменьшается и ток через обмотку увеличивается, благодаря чему обеспечивается защита от «дребезга» контактов прерывателя.

Достоинствами этой схемы являются ее простота и возможность использования в двигателях, с корпусом которых может быть соединен как положительный, так и отрицательный полюсы источника питания. При изменении полярности источника питания необходимо лишь поменять местами концы одной из обмоток трансформатора $Тр_2$. Практические данные элементов схемы приведены на рис. 35.

В заключение необходимо сказать несколько слов о видоизменениях схем управления в тех случаях, когда напряжение переключения тиристоров ниже рабочего напряжения, которое требуется для накопления энергии в конденсаторе. Для предотвращения самопроизвольного включения в этом случае может быть применено последовательное включение нескольких тиристоров. При этом суммарное напряжение включения тиристоров должно быть выше рабочего. Вследствие того что напряжение на последовательно включенных тиристорах распределяется обратно пропорционально току утечки, надо принять необходимые меры, обеспечивающие равномерное распределение напряжения на них.

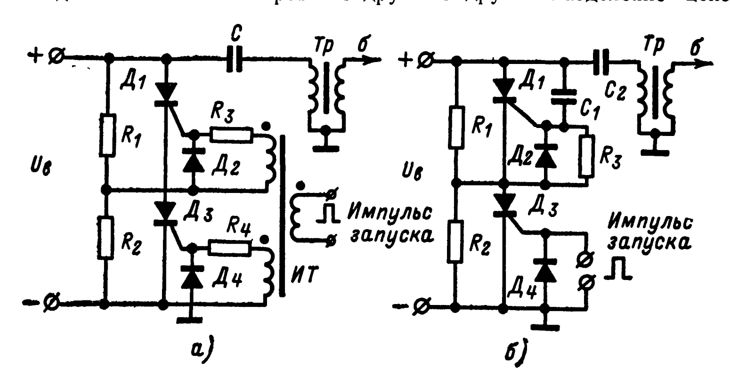
Наиболее простой способ заключается в шунтировании каждого тиристора резистором. Максимальное сопротивление такого резисто-

ра может быть вычислено по следующей формуле:

$$R = \frac{nU_{вкл} - U_{раб}}{(n-1) I_{ут}},$$

где $U_{вкл}$ — максимальное напряжение включения одного тиристора, *в*; $U_{раб}$ — максимальное амплитудное значение рабочего напряжения, приложенного к цепочке, *в*; n — число последовательно включенных тиристоров; $I_{ут}$ — максимальный прямой ток утечки, *а*.

При последовательном включении тиристоров их цепи управления должны быть изолированы друг от друга Разделение цепей



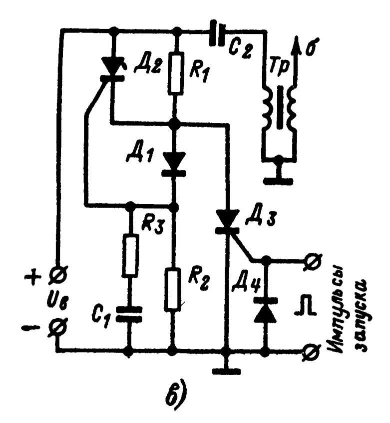


Рис. 22. Схема управления последовательно включенными тиристорами.

управления удобно осуществлять при помощи импульсных трансформаторов с несколькими изолированными обмотками. В каждую цепь управления тиристором желательно включить резистор с небольшим сопротивлением или конденсатор емкостью 0,1 *мкф* во избежание шунтирующего действия цепи управления с более низким сопротивлением на управляющую цепь с более высоким сопротивлением Схемы управления с последовательно включенными тиристорами приведены на рис 22. На рис. 22, *а* показана схема управления на импульсном трансформаторе *ИТ*. Резисторы R_1 и R_2 здесь служат для выравнивания напряжения на тиристорах $Д_1$ и $Д_2$. Резисторы R_3 и R_4 (или конденсаторы вместо них) — развязывающие. Диоды $Д_2$ и $Д_4$ ограничивают отрицательное напряжение на управляющих электродах тиристоров.

На рис. 22, *б* приведен другой способ построения схемы запуска последовательно включенных тиристоров. Тиристор $Д_3$ запускается

непосредственно от источника запускающего сигнала. Тиристор $Д_1$ запускается импульсом зарядного тока конденсатора C_1, когда напряжение на тиристоре $Д_3$ быстро спадает при его переходе во включенное состояние Резисторы R_1 и R_2 служат для выравнивания напряжений на тиристорах $Д_1$ и $Д_3$, а диоды $Д_2$ и $Д_4$ — для ограничения отрицательного напряжения на управляющих электродах.

На рис. 22, *в* показан еще один способ подачи управляющего напряжения на последовательно включенные тиристоры. В исходном состоянии, когда тиристоры выключены, падение напряжения на них практически одинаково, так как они зашунтированы резисторами R_1 и R_2 с одинаковым сопротивлением, а падение напряжения на диоде $Д_1$, который включен в прямом направлении, незначительно (0,6—0,7 *в*). Это напряжение, будучи приложено к управляющему электроду тиристора $Д_2$, надежно его запирает. Конденсатор C_1 зазаряжается через резистор R_3 до напряжения, равного примерно половине напряжения источника питания $U_в$. Управляющий импульс в момент размыкания контактов прерывателя подается на управляющий электрод тиристора $Д_3$, который переходит во включенное состояние. При этом напряжение на тиристоре $Д_3$ резко падает, а следовательно, падает и напряжение на катоде тиристора $Д_2$ по отношению к его управляющему электроду. Таким образом, напряжение, до которого зарядился конденсатор C_1, оказывается приложенным в положительной полярности к управляющему электроду тиристора $Д_2$ и он также переходит во включенное состояние. Диоды $Д_1$ и $Д_4$ служат также для ограничения отрицательного напряжения на управляющих электродах тиристоров.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

Рассмотрим дополнительные усовершенствования, которые в некоторых случаях бывает полезно внести в схему конденсаторных систем зажигания. При эксплуатации автомобиля с аккумулятором, у которого снизилась емкость и увеличилось внутреннее сопротивление, в момент пуска двигателя напряжение может упасть до 6—6,5 *в* и пуск двигателя даже с электронной системой зажигания будет затруднен Для компенсации снижения энергии искрообразования в момент пуска можно идти двумя путями. Первый путь — увеличение емкости накопительного конденсатора в момент пуска двигателя, второй — увеличение напряжения на накопительном конденсаторе в момент пуска.

Поскольку при пуске стартером скорость двигателя невелика, то подключение в это время к накопительному конденсатору дополнительного конденсатора емкостью, в 3—4 раз превышающей основную, не отражается на работе системы. Энергия искрообразования в этом случае существенно увеличивается Так, например, при снижении напряжения первичного источника вдвое примерно вдвое снижается и напряжение на выходе преобразователя, и для того чтобы энергия искрообразования осталась неизменной, необходимо увеличить емкость конденсатора в 4 раза. Схема включения такого дополнительного накопительного конденсатора приведена на рис. 23

Если емкость основного конденсатора C_1 равна 2 *мкф*, то емкость дополнительного конденсатора C_2 должна быть 6 *мкф* Резистор R_1 сопротивлением 0,3—0,5 *Мом* служит для разряда конденсатора после его отключения. Реле P_1 имеет всего одну пару нор-

мально разомкнутых контактов и рассчитано на работу при напряжении 6 *в*. Оно может быть подключено либо параллельно стартеру, либо непосредственно к стартерному зажиму замка зажигания. Реле и дополнительный конденсатор можно расположить в том же кожухе, что и основную схему, или вблизи нее на отдельном кронштейне.

Другой способ увеличения энергии искрообразования состоит в том, чтобы сохранить выходное напряжение преобразователя на прежнем уровне. В схеме на рис. 24, *а* нормально замкнутый кон-

Рис. 23. Схема включения дополнительного накопительного конденсатора.

Рис. 24. Схемы переключения обмоток в трансформаторе преобразователя для получения повышенного напряжения на преобразователе в момент пуска двигателя.

такт реле P_1 подсоединен к части выходной обмотки трансформатора Tp_1 преобразователя В момент пуска двигателя реле подсоединяет выходной выпрямитель ко всей обмотке и напряжение на выходе преобразователя увеличивается. Увеличивая или уменьшая количество витков в дополнительной обмотке, можно подобрать необходимое напряжение. Для удобства регулировки выходного напряжения дополнительную обмотку целесообразно сделать с отводами. Реле P_1 подключается в схему так же, как и в предыдущем случае.

На рис. 24, *б* показан еще один способ повышения выходного напряжения при пуске двигателя. В этом случае на выходе преобразователя используется не мостовая схема, как обычно, а двухполупериодная с отводом от средней точки. Нормально замкнутый контакт реле P_1 соединяет среднюю точку выходной обмотки трансформатора Tp_1 преобразователя с корпусом. В момент пуска двигателя реле P_1 срабатывает и соединяет с корпусом один из концов обмотки. После этого преобразователь начинает работать с однополупериодным выпрямителем на выходе и напряжение на нем увеличивается почти вдвое. Некоторое увеличение времени заряда накопительного конденсатора при однополупериодном выпрямлении несущественно, так как скорость двигателя в момент пуска, как уже указывалось, мала и конденсатор успевает подзарядиться. Если выходное напряжение при этом слишком велико, то в цепь питания преобразователя последовательно выключают резистор R_1, сопротивление которого выбирается таким, чтобы получить на выходе преобразователя в момент пуска двигателя нужное напряжение. После выключения стартера контакты реле P_1 возвращаются в исходное положение и резистор R_1 замыкается накоротко парой контактов этого реле, а вторая пара контактов переключает выпрямитель преобразователя для работы по двухполупериодной схеме.

В схеме преобразователя, приведенной на рис. 24, *в*, первичная обмотка трансформатора Tp_1 имеет два дополнительных отвода, которые через диоды $Д_1$ и $Д_3$ подключаются через дополнительные контакты стартера *КС*. При пуске двигателя, когда контакты стартера замкнуты, напряжение на преобразователь поступает через эти диоды и вследствие увеличения коэффициента трансформации выходное напряжение преобразователя увеличивается. Изменение коэффициента трансформации должно выбираться из условия компенсации падения напряжения, которое происходит при пуске двигателя стартером. При отключении дополнительных контактов стартера диоды $Д_1$ и $Д_3$ оказываются включенными навстречу друг другу и не ухудшают работу преобразователя.

В некоторых случаях может оказаться полезным устройство, принципиальная схема которого приведена на рис. 25. Оно дает возможность предотвратить короткое замыкание источника высокого напряжения через тиристор во время разряда накопительного конденсатора. При этом существенно снижаются требования к элементам преобразователя и облегчается режим его работы. Особенностью данной схемы является то, что в нее введен электронный ключ на транзисторах T_1 и T_2, который управляется контактами прерывателя *К* и обеспечивает изоляцию источника питания от разрядной цепи накопительного конденсатора C_4. Схема преобразователя, системы формирования запускающего импульса и разрядной цепи не имеют каких-либо особенностей, и, таким образом, подобное усовершенствование может быть введено в уже готовую схему. При размыкании

контактов прерывателя на базу транзистора T_2 за счет зарядного тока конденсатора C_2 поступает импульс напряжения, который отпирает его, а следовательно, запирает транзистор T_1. При этом источник питания оказывается отключенным от разрядной цепи, а преобразователь продолжает работать, накапливая энергию на конденсаторе C_1. Одновременно схема управления включает тиристор $Д_3$. После того как пройдет разрядный процесс в цепи накопительного конденсатора и тиристор выключится, транзистор T_2 запрется, а транзистор T_1 откроется и накопительный конденсатор C_4 окажется

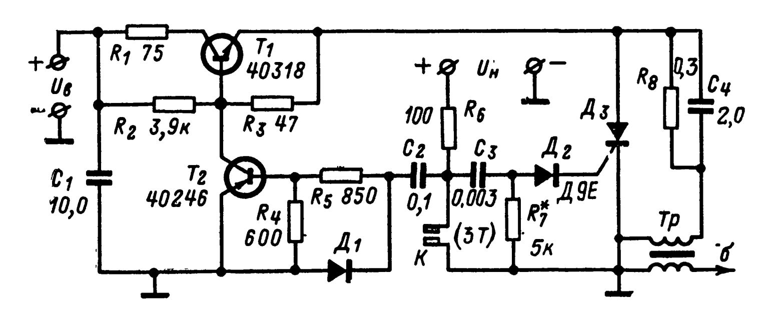


Рис. 25. Схема с отключением первичного источника питания от разрядной цепи.

подключенным к конденсатору C_1. Учитывая то обстоятельство, что емкость конденсатора C_1 существенно больше емкости накопительного конденсатора C_4, он быстро зарядится, не оказывая существенного влияния на работу преобразователя. Указанное обстоятельство позволяет улучшить характеристики системы зажигания на больших оборотах двигателя и резко уменьшить ток, потребляемый при малых оборотах. Максимальная скорость, при которой проверялась такая система, составляла 30 тыс. импульсов в минуту. К недостаткам схемы надо отнести то, что к транзистору T_1 предъявляются очень высокие требования по допустимому напряжению между коллектором и эмиттером.

Как на одно из решений проблемы облегчения режима работы преобразователя можно указать на возможность выключения преобразователя контактом прерывателя. Однако такое решение снижает потенциальные возможности конденсаторных систем зажигания, ограничивая максимально возможную скорость работы за счет того, что преобразователь будет работать только в то время, когда замкнуты контакты прерывателя.

Одним из путей, с помощью которого можно существенно увеличить скорость заряда и выходное напряжение конденсаторной системы зажигания, является использование принципа резонансного заряда накопительной емкости. Для этого применяется последовательный резонансный контур, в который входят накопительный конденсатор C_2 и индуктивность L, показанные на рис. 26, *а*. Вид напряжения на накопительном конденсаторе при резонансном заряде показан на рис. 26, *б*.

Перед началом цикла заряда, когда конденсатор разряжен, через накопительную индуктивность протекает ток, и в ней происходит накопление энергии. Когда емкость полностью разрядится и тиристор выключится, начинается накопление заряда на конденсаторе. При достижении напряжением на конденсаторе величины, равной напряжению зарядного источника питания (преобразователя), скорость заряда достигает наибольшего значения и напряжение продолжает увеличиваться за счет энергии, отдаваемой индуктивностью. По мере расходования запасенной в индуктивности энергии скорость нарастания напряжения на накопительной емкости постепенно умень-

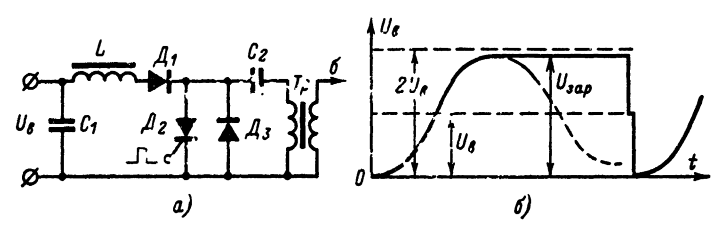


Рис. 26. Схема зажигания с резонансным зарядом накопительной емкости (*а*) и форма напряжения при резонансном заряде (*б*).

шается и становится равной нулю при удвоенном напряжении источника питания $U_в$. После этого в колебательном контуре начинается разряд емкости и напряжение уменьшается по синусоидальному закону (показано на рисунке пунктиром).

Для сохранения достигнутого напряжения на емкости до того момента, когда должна быть образована искра в свече, последовательно с цепью заряда поставлен диод $Д_1$. При заряде емкости этот диод практически не влияет на процессы в контуре, так как он включен в прямом направлении и его сопротивление току мало. Однако, когда напряжение на накопительном конденсаторе после достижения максимума начинает уменьшаться, диод запирается и размыкает цепь колебательного контура. Колебательный разряд прекратится, а накопительная емкость окажется отключенной от источника зарядного напряжения

Практически величина напряжения, до которого заряжается накопительный конденсатор $U_{зар}$, не достигает удвоенного значения напряжения источника питания $U_в$, а остается несколько меньше его за счет потерь в соединительных цепях и диоде. Обычно достигается значение $U_{зар} = (1{,}7 \div 1{,}8)\,U_в$, и к. п. д такой зарядной цепи составляет около 90%.

При поступлении на управляющий электрод тиристора $Д_2$ запускающего импульса происходит разряд накопленной в емкости энергии через тиристор и первичную обмотку катушки зажигания. По окончании периода разряда за счет колебательного характера цепи разряда на обкладках накопительного конденсатора может образоваться небольшой заряд обратной полярности. Пути для стекания этого заряда нет, так как тиристор обеспечивает лишь одностороннюю проводимость. Напряжение этого заряда в последующем цикле окажется приложенным к накопительному конденсатору после-

довательно с напряжением зарядного источника. В результате этого конденсатор зарядится до несколько большей величины, чем в первый раз. Таким путем максимальное напряжение на конденсаторе с каждым циклом заряда может увеличиваться и в конце концов превысит допускаемое для тиристора напряжение, и он пробьется.

Чтобы избежать этого, в разрядный контур, образованный накопительной емкостью, первичной обмоткой катушки зажигания и тиристором, параллельно с тиристором ставят диод, таким образом, чтобы образовать низкоомную цепь для стекания остаточного заряда.

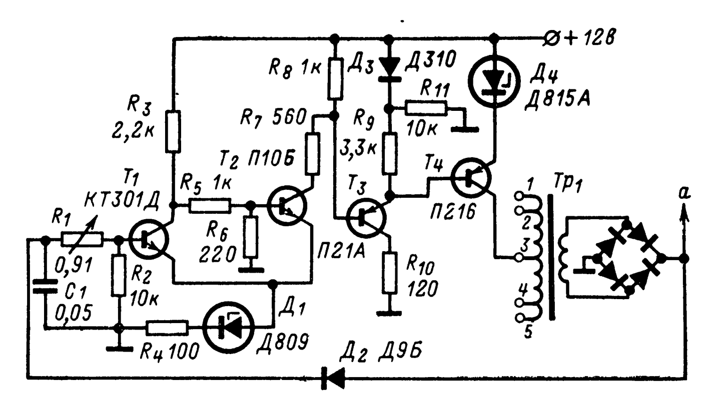


Рис. 27. Схема стабилизации напряжения на накопительном конденсаторе.

Индуктивность для катушки с коэффициентом трансформации порядка 1 100 и емкости накопительного конденсатора C_2 — 1 *мкф* берется около 250 *мгн*. Параллельно выходу преобразователя $U_в$ включается конденсатор C_1 емкостью 20—30 *мкф*. В остальном схема не имеет каких-либо особенностей.

В практической реализации такой схемы при напряжении источника зарядного напряжения 375 *в* накопительная емкость в системе с резонансным зарядом заряжалась до 550 *в*. При применении стандартной катушки зажигания с коэффициентом трансформации 1 : 100, используемой обычно с электромеханическими системами зажигания, высокое напряжение на вторичной обмотке достигало 55 *кв* Лабораторные испытания такой системы показали, что вторичное напряжение не уменьшалось до скорости, соответствующей 22 000 *об/мин* вала двигателя

В заключение рассмотрим вариант построения схемы, обеспечивающей постоянство выходного напряжения при изменениях питающего напряжения в широких пределах. На рис 27 приведена принципиальная схема такого устройства. Питание преобразователя (на рисунке показаны только трансформатор преобразователя Tp_1 и выпрямитель) производится с помощью электронного ключа, выполненного на транзисторе T_4 Управление электронным ключом осуществляет пороговая схема, выполненная на транзисторах T_1 и T_2. Поро-

говая схема работает так, что при достижении определенного напряжения на накопительном конденсаторе она переключается и электронный ключ размыкается. При этом отключается питание генератора преобразователя и он перестает работать. После разряда накопительного конденсатора напряжение на нем становится равным нулю Пороговая схема переключается в обратном направлении, и электронный ключ замыкается. Преобразователь начинает работать, накопительный конденсатор заряжается, пороговая схема при достижении определенного потенциала опять срабатывает, и процесс повторяется.

Выходное напряжение преобразователя в этой схеме выбирается таким, чтобы оно было немного больше рабочего при самом низком напряжении источника питания. В обычных схемах этого делать нельзя, так как при повышении напряжения источника питания выходное напряжение увеличивается до недопустимых пределов. В рассматриваемой схеме этого не происходит, так как при достижении рабочего напряжения на накопительном конденсаторе преобразователь немедленно выключается. Эта схема хороша еще и тем, что включившийся тиристор не шунтирует генератор, который к этому времени уже выключен, и режим транзисторов и диодов, работающих в преобразователе, существенно облегчается Конденсатор C_1 служит для увеличения времени отпирания электронного ключа, что необходимо для выключения тиристора. Резистор R_1 служит для регулировки уровня выходного напряжения. Чем больше его сопротивление, тем больше выходное напряжение. Каскад на транзисторе T_3 буферный.

МНОГОИСКРОВЫЕ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

Как было показано, энергия искрового разряда, обеспечиваемая системой зажигания за один цикл, достаточно мала. При пуске двигателя в холодное время года за счет плохого распыления горючей смеси в цилиндрах двигателя необходимая для запуска двигателя энергия возрастает в несколько раз. Для того чтобы увеличить энергию искрового разряда в период пуска двигателя, используются так называемые многоискровые или пусковые системы зажигания. Отличительной особенностью таких систем является то, что схема управления при пуске двигателя переводится в режим, обеспечивающий за один цикл подачу в цилиндры двигателя не одной, а серии искр. Продолжительный искровой разряд при этом способствует испарению частично сконденсировавшейся в цилиндрах горючей смеси, ее нагреву и воспламенению. После пуска и частичного прогрева двигателя многоискровая система выключается и двигатель переходит в обычный режим работы. Такие пусковые системы применяются в большинстве авиационных двигателей и в некоторых карбюраторных и дизельных автомобильных двигателях. В частности на автомобиле ЗИЛ-110 установлена аварийная многоискровая рабочая система зажигания. В классических батарейных системах зажигания в таком режиме параллельно контактам прерывателя ставится вибратор с частотой колебаний якоря 100—200 в секунду, который при разомкнутых контактах прерывателя имитирует его работу и обеспечивает образование серии искр с энергией, близкой к номинальной.

Несколько вариантов подключения вибраторов показано на рис. 28.

В схеме, изображенной на рис. 28, *а*, в качестве вибратора использовано реле с рабочим напряжением 6—12 *в* с одним переходным контактом, а на рис. 28, *б* — с двумя контактами: одним нормально замкнутым и одним нормально разомкнутым. По этой же схеме может быть включено реле с двумя нормально замкнутыми контактами, но в этом случае его необходимо подключать через выключатель $Вк_1$, имеющий две пары контактов, т. е. необходимо в нерабочем режиме размыкать цепь контакта P_1^2 реле P_1, который

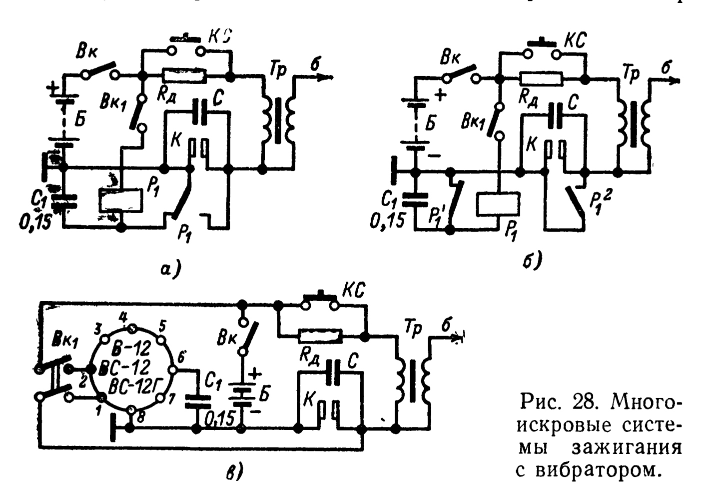


Рис. 28. Многоискровые системы зажигания с вибратором.

шунтирует контакты прерывателя. Схема включения вибраторов В-12, ВС-12 и ВС-12Г от вибропреобразователей автомобильных радиоприемников приведена на рис. 28, *в*.

Многоискровая транзисторная система зажигания, схема которой приведена на рис. 29, является усовершенствованием схемы (см. рис. 9). Роль вибратора в ней выполняет блокинг-генератор, работающий в режиме непрерывной генерации и выполняющий роль электронного ключа, включенного параллельно механическому. Блокинг-генератор собран на транзисторе T_4, напряжение положительной обратной связи подается на его базу с отдельной обмотки w_5 трансформатора $Тр_1$. В то время, когда контакты выключателя $Вк_1$ замкнуты, а контакты механического прерывателя $К$ разомкнуты, блокинг-генератор вырабатывает импульсы с частотой порядка 300 *гц*. Эти импульсы с обмоток w_2, w_3, w_4, будучи приложены к переходам эмиттер — база транзисторов T_1—T_3, запирают их с частотой, определяемой блокинг-генератором. При этом в каждый период запирания транзисторов T_1—T_2 происходит искрообразование в свечах. Когда контакты прерывания $К$ замыкаются, они шунтируют коллекторно-эмиттерный переход T_4 и генерация импульсов в блокинг-генераторе срывается. Реле P_1, включенное параллельно реле стартера, одним из своих нормально разомкнутых контактов закорачивает в момент пуска двигателя стартером вариатор $R_д$, а вторым таким же контактом резистор R_4 в цепи баз транзисторов T_1—T_3, чем обеспечивается уверенный запуск двигателя. Обмотки w_1, w_2, w_3, и w_4 трансформатора содержат по 50 витков провода ПЭЛШО диаметром 0,1 *мм*, а

обмотка w_5 содержит 150 витков провода ПЭЛ диаметром 0,2 *мм*. При использовании транзистора T_4 с низким коэффициентом усиления по току частота блокинг-генератора может превышать величину 300 *гц*, а следовательно, время для нарастания первичного тока в катушке зажигания может оказаться недостаточным. Для снижения

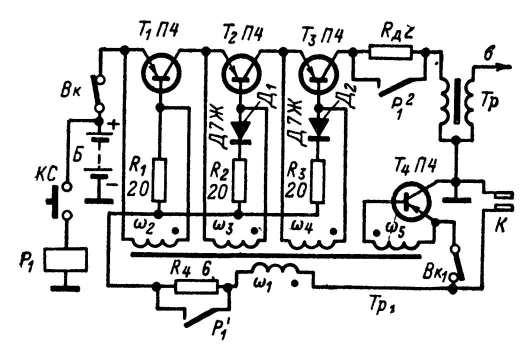


Рис. 29 Многоискровая транзисторная система зажигания.

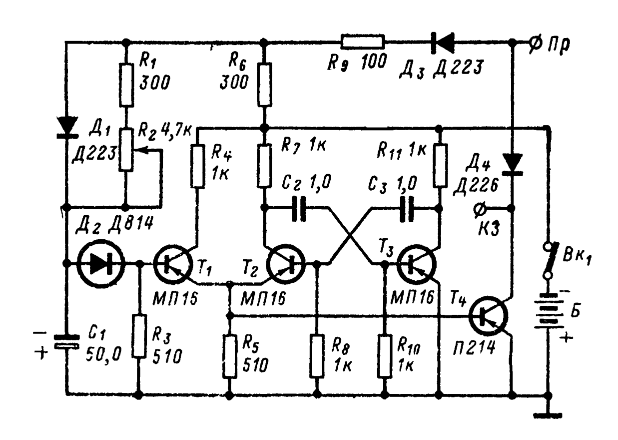


Рис. 30. Приставка к конденсаторной системе зажигания, обеспечивающая многократное регулируемое искрообразование.

частоты блокинг-генератора в этом случае параллельно обмотке w_5 трансформатора включается конденсатор емкостью 0,1—0,5 *мкф*.

На рис. 30 приведена достаточно совершенная схема приставки для осуществления многоискрового запуска двигателя с конденсаторной системой зажигания. Данная схема выполняется в виде приставки к основному блоку зажигания и обеспечивает регулируемое многократное искрообразование в пределах от 2 до 12—15 искр после размыкания контактов прерывателя. Иногда это бывает полезно

для более легкого запуска двигателя. Приставка предназначена для использования со схемой управления, изображенной на рис 19, *б*; при подключении приставки перемычка между K_3 и *Пр* в схеме на рис. 19, *б* снимается.

Схема состоит из мультивибратора (который генерирует с частотой порядка 200 *гц*), выполненного на транзисторах T_2 и T_3, реле времени на транзисторе T_1 и транзисторного ключа, имитирующего работу прерывателя на транзисторе T_4. При включенной приставке после размыкания контактов прерывателя на транзистор T_4 через резистор R_5 основного блока (см. рис. 19, *б*) подается питание и транзистор T_4 начинает коммутироваться с частотой мультивибратора. В открытом состоянии падение напряжения на транзисторе T_4 составляет доли вольта, и он практически осуществляет соединения контакта *К3* с корпусом, имитируя работу прерывателя, при этом частота искрообразования определяется работой мультивибратора. В момент размыкания контактов прерывателя *К* начинается заряд конденсатора реле времени C_1 через резисторы R_9, R_1, R_2. Когда напряжение на конденсаторе C_1 достигнет напряжения пробоя стабилитрона $Д_2$, его внутреннее сопротивление резко упадет и транзистор T_1 отопрется. При этом увеличится падение напряжения на резисторе R_5 и транзистор T_4 также отопрется. Параметры схемы выбраны таким образом, что после того, как отопрется транзистор T_1, транзистор T_4 также остается открытым при любом состоянии мультивибратора и искрообразование прекращается. Таким образом, количество искр в данной схеме может быть отрегулировано при помощи изменения регулировкой резистора R_2 постоянной времени заряда конденсатора C_1. При замыкании контактов прерывателя конденсатор C_1 разряжается через цепочку, состоящую из диодов $Д_1$ и $Д_3$ и резистора R_9. Когда напряжение на конденсаторе C_1 станет ниже напряжения пробоя стабилитрона $Д_2$, его сопротивление увеличится и транзистор T_1 запрется. При последующем размыкании контактов цикл многократного искрообразования повторяется.

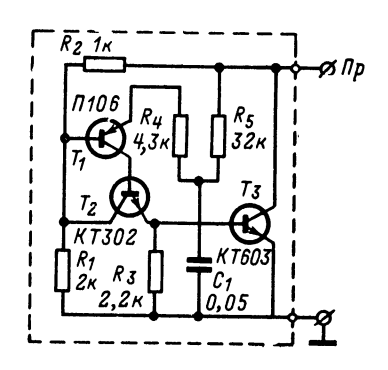


Рис. 31. Приставка к полупроводниковой системе зажигания для автомобилей с минусом на корпусе.

На рис. 31 показана принципиальная схема приставки к конденсаторным системам зажигания, обеспечивающая многократное искрообразование для автомобилей, у которых с корпусом соединен отрицательный полюс аккумуляторной батареи. Схема подключается к основному блоку полупроводниковой системы зажигания параллельно контактам прерывателя и включается контактом стартера *КС* или контактом реле, которое срабатывает одновременно с реле стартера

При подключении схемы необходимо учитывать, что резистор, включаемый между источником напряжения $U_н$ и контактами прерывателя для обеспечения необходимого тока через контакты, в этом

случае должен выбираться, исходя из допустимого тока через транзистор T_3.

При разомкнутых контактах прерывателя на схему поступает напряжение источника $U_н$. Резисторы R_1 и R_2 образуют делитель напряжения, и напряжение на базе транзистора T_1 составляет 0,6—0,7 от напряжения источника $U_н$. Предложим, что конденсатор C_1 в первый момент разряжен. Тогда потенциал на эмиттере транзистора T_1 равен потенциалу корпуса и транзистор T_1 заперт. Поскольку ток базы транзистора T_2 определяется током коллектора транзистора T_1, он также будет заперт. По той же причине будет заперт и транзистор T_3. По мере заряда конденсатора C_1 через резистор R_5 от источника $U_н$ напряжение на эмиттере транзистора T_1 в какой-то момент времени достигает величины, при которой транзистор T_1 начинает отпираться. При этом коллекторный ток транзистора T_1 начинает отпирать транзистор T_2. При открывании транзистора T_2 потенциал на его коллекторе по отношению к корпусу падает. Как видно из схемы, это сопровождается уменьшением потенциала на базе транзистора T_1, что вызовет еще большее его отпирание. Далее процесс отпирания транзисторов T_1 и T_2 происходит лавинообразно до насыщения транзистора T_2. При этом напряжение на резисторе R_3 резко возрастет и откроет транзистор T_3, его внутреннее сопротивление уменьшится и его действие будет аналогично замыканию контакта прерывателя, т. е. произойдет образование искры. После того как оба транзистора окажутся открытыми, конденсатор C_1 разряжается через резистор R_4, открытые транзисторы T_1 и T_2 и резисторы R_1 и R_2. Напряжение на эмиттере транзистора T_1 постепенно уменьшается, а следовательно, уменьшается и ток, проходящий через транзисторы T_1 и T_2. В какой-то момент времени ток базы транзистора T_2 уменьшится настолько, что он запрется. При этом напряжение на его коллекторе увеличится и, будучи приложенным к базе транзистора T_1, запрет его.

Процесс дальнейшего запирания проходит лавинообразно. В результате оба транзистора будут заперты, напряжение на резисторе R_3 станет равным нулю, а следовательно, сопротивление перехода эмиттер — коллектор транзистора T_3 возрастает, имитируя размыкание контактов прерывателя. При разомкнутых контактах прерывателя схема будет продолжать релаксировать, причем время запертого состояния транзисторов определяется в основном постоянной времени заряда цепочки R_5C_1, а время открытого состояния определяется постоянной времени разряда цепочки R_4C_1. Процесс перехода схемы из одного состояния в другое происходит очень быстро из-за сильной положительной обратной связи.

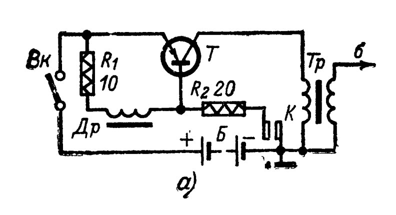
При замыкании контактов прерывателя конденсатор разряжается и схема приходит в исходное положение. В момент размыкания контактов прерывателя напряжение на клемме *Пр* резко возрастает, что вызывает надежное запирание транзистора T_1. Далее релаксационные процессы будут повторяться до момента замыкания контактов прерывателя. Из сказанного следует, что начало многократного искрообразования в рассматриваемой схеме будет определяться моментом размыкания контактов прерывателя, а частота образования последующих искр будет определяться в основном параметрами зарядной R_5C_1 и разрядной R_4C_1 цепей. Частота релаксации обычно выбирается порядка 200 *гц*. В качестве транзистора T_3 должен быть взят достаточно мощный транзистор, который может коммутировать токи, достигающие в некоторых случаях величины до 1 *а*.

В заключение следует отметить, что многоискровые системы зажигания используются некоторыми ведущими автомобильными фирмами. Так фирмой «Форд» разработана бесконтактная многоискровая система зажигания, работающая следующим образом. В качестве источника энергии для искрообразования используется мощный блокинг-генератор со специальным трансформатором, в магнитную цепь которого вводится металлический диск с прорезями, установленный на валу распределителя. Когда в магнитную цепь трансформатора введено тело диска, взаимоиндуктивность обмоток трансформатора блокинг-генератора мала и колебания в нем срываются. В тот момент, когда к магнитной цепи подходит прорезь диска, взаимоиндуктивность обмоток увеличивается и блокинг-генератор начинает работать, причем при каждом периоде генератора происходит образование искры в системе зажигания. Аналогичным образом может быть построена и многоискровая схема запуска в конденсаторных системах зажигания, при этом мощность блокинг-генератора может быть существенно снижена.

ПРАКТИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СИСТЕМ ЗАЖИГАНИЯ

СИСТЕМА ЗАЖИГАНИЯ ДЛЯ МОТОЦИКЛА

На рис. 32, *а* приведена схема простейшей транзисторной системы зажигания для мотоцикла с напряжением питания 6 *в*. В качестве транзистора *Т* могут быть использованы транзисторы ти-



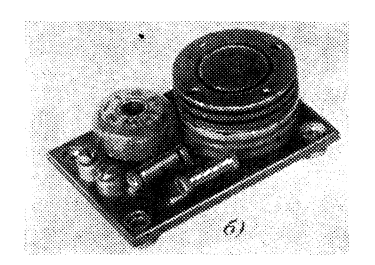


Рис. 32. Транзисторная система зажигания для мотоцикла (*а*) и ее внешний вид (*б*).

пов П4, П210 или им аналогичные. При этом они должны быть отобраны таким образом, чтобы падение напряжения на них при замкнутых контактах прерывателя не превышало 0,25—0,3 *в*, а напряжение на первичной обмотке катушки зажигания, измеренное пиковым вольтметром, например подобным описанному в [Л. 18], бы-

ло не менее 120—140 *в*. Косвенно это напряжение может быть оценено по пробивному напряжению на разряднике, расстояние между электродами которого при этом должно быть не менее 7—10 *мм*. Размеры стандартного разрядника приведены в [Л. 12]. В качестве дросселя *Др* может быть использован импульсный трансформатор МИТ-4, у которого обмотки включены последовательно, или он может быть намотан на ферритовом кольце 20×10×5 *мм* с проницаемостью в пределах 500—2 000 проводом ПЭШО, ПЭБО или аналогичным диаметром 0,4—0,5 *мм*. Дроссель должен иметь индуктивность 3,5—5 *мкгн*, это соответствует примерно 40—60 виткам провода. В некоторых случаях при регулировке для получения лучших результатов можно уменьшить величину резистора R_2 до 7—10 *ом*. Конструкция блока показана на рис. 32, *б*.

СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ ДЛЯ АВТОМОБИЛЯ

Принципиальная схема транзисторной системы зажигания с коммутатором ТК-102, выпускаемая отечественной промышленностью, приведена на рис. 33 Эта система предназначена для установки на любом современном карбюраторном двигателе внутреннего сгорания с напряжением питания электрооборудования 12 *в*.

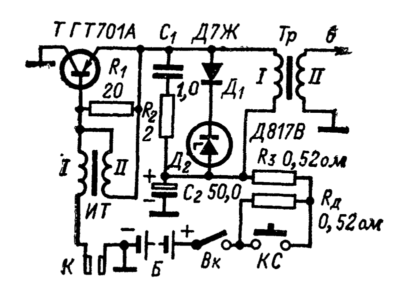


Рис. 33. Схема транзисторной системы зажигания типа ТК-102.

Транзистор *Т* работает в ключевом режиме с нагрузкой в цепи эмиттера. Такое включение транзистора имеет то преимущество, что его корпус, соединенный с коллекторным выводом, имеет непосредственный тепловой контакт с кожухом транзисторного коммутатора и обеспечивает эффектный отвод мощности, рассеиваемой на коллекторе транзистора.

При замкнутых контактах прерывателя *К* в цепи базы транзистора ток отсутствует и транзистор заперт. При размыкании контактов прерывателя в цепи базы транзистора появляется ток 0,3—0,9 *а*. Транзистор полностью отпирается, внутреннее сопротивление его резко падает, и в первичной обмотке протекает ток, определяемый полным сопротивлением первичной цепи. Обычно он составляет 7—8 *а*.

Прекращение тока в первичной цепи при размыкании контактов прерывателя вызывает появление э. д. с. самоиндукции, которая здесь не превышает 100—120 *в* против 200—300 *в* и электромеханической системе зажигания. Низкое значение э. д. с. самоиндукции объясняется применением катушки зажигания с уменьшенной индуктивностью первичной обмотки (катушка типа Б-114; ее параметры приведены в приложении).

Специальный импульсный трансформатор *ИТ* и резистор R_1 служат для ускорения процесса запирания транзистора при размыкании контактов прерывателя. Параметры трансформатора *ИТ* выбраны таким образом, что позволяют оптимизировать условия переключения транзистора. Обязательным условием получения быстродействия

в транзисторной системе, существенно превышающего быстродействие электромеханической системы зажигания, является применение транзистора с малым временем переключения. Применение в схеме коммутации мощного транзистора и активного способа запирания позволило гарантировать постоянные высокие скорости переключения независимо от разброса параметров отдельных транзисторов и изменения температуры окружающей среды.

Цепь C_1R_2 служит для сглаживания переходного процесса, вызванного индуктивностью рассеяния в первичной цепи катушки зажигания, что способствует уменьшению рассеиваемой транзистором мощности. Резисторы R_3 и $R_д$ являются вариатором. Конденсатор C_2 защищает систему от импульсов напряжения, которые могут возникнуть в питающей цепи, и замыкает один из концов зажигания по переменному току на корпус. Цепь, состоящая из диода $Д_1$ и стабилитрона $Д_2$, служит для защиты транзистора от перенапряжения. При положительном (относительно корпуса) напряжении на вторичной обмотке катушки зажигания ток первичной обмотки проходит через диод $Д_1$ и стабилитрон $Д_2$. Появляющееся в этот момент в первичной обмотке катушки зажигания напряжение не будет превышать напряжения стабилитрона $Д_2$, так как после пробоя он зашунтирует первичную обмотку.

При отрицательном напряжении на «горячем» конце катушки зажигания она не будет шунтироваться $Д_2$, так как диод $Д_1$ в обратном направлении имеет большее сопротивление.

Контакты *КС* предназначены для шунтирования балластного резистора $R_д$ при запуске двигателя и для облегчения запуска.

В описываемой системе применены: резисторы R_1 и R_2 типа УЛИ-0,25, конденсаторы C_1 типа МБМ на рабочее напряжение 160 *в* и C_2 типа К50-6 на рабочее напряжение 25 *в*. Импульсный трансформатор *ИТ* имеет следующие параметры: первичная обмотка состоит из 50 витков, имеет активное сопротивление 0,14 *ом* и индуктивность 0,1 *мгн*; вторичная обмотка состоит из 150 витков с активным сопротивлением 7 *ом* и индуктивностью 6,2 *мгн*. Данные остальных элементов приведены на принципиальной схеме.

Корпус прибора отлит из алюминиевого сплава и имеет площадь наружной поверхности около 470 *см*², что обеспечивает достаточный теплообмен с окружающей средой. Транзистор с обеих сторон залит эпоксидной смолой. Элементы цепи защиты $Д_1Д_2C_1R_2$ смонтированы на алюминиевом теплоотводе и залиты эпоксидной смолой.

Диапазон рабочих температур прибора от —40 до +65° С. Учитывая, что рабочая температура не должна превышать 65° С, прибор рекомендуется размещать в кабине водителя.

На рис. 34 приведена схема промышленной системы транзисторного зажигания типа ППЗ-1, которая предназначена для установки на двигателях внутреннего сгорания с катушками зажигания типа Б1, Б7, Б7А, Б13, Б21, Б21А. Эта система обеспечивает выходное напряжение не менее 18 *кв* и бесперебойное искрообразование при уменьшении скорости двигателя до 10 *об/мин*. Прибор может быть установлен на автомобиле без каких-либо механических доработок существующей системы зажигания и без замены ее узлов.

При разомкнутых контактах *К* прерывателя транзисторы T_1—T_3 заперты и ток через первичную обмотку катушки зажигания отсутствует. При замкнутых контактах прерывателя ток в первичной обмотке составляет, как и в обычной системе зажигания, около 4 *а*.

Для выравнивания падения напряжения на транзисторах между коллектором и эмиттером каждого транзистора включен резистор, сопротивление которого значительно ниже внутреннего сопротивления транзистора в запертом состоянии. Благодаря этому напряжение распределяется между транзисторами равномерно независимо от их параметров.

Цепь управления транзисторным коммутатором состоит из резисторов R_4—R_8, предназначенных для ограничения тока управления, диодов $Д_1$—$Д_4$ и дросселей $Др_1$—$Др_3$.

Рис. 34. Схема транзисторной системы зажигания типа ППЗ-1.

При замкнутых контактах прерывателя процесс управления транзисторным коммутатором происходит следующим образом. Транзистор T_3 управляется током, проходящим по цепи: плюс аккумуляторной батареи — резисторы $R_{10}R_{11}$ — переход — эмиттер — база транзистора T_3 — резистор R_8, контакты прерывателя — минус аккумуляторной батареи. Транзистор T_3 при этом отпирается. Когда транзистор T_3 отопрется, создается цепь: плюс аккумуляторной батареи — резисторы R_{10}, R_{11} — переход эмиттер — коллектор транзистора T_3 — переход эмиттер — база транзистора T_2 — диоды $Д_3$—$Д_4$ — резисторы R_6, R_7 — контакты прерывателя — минус аккумуляторной батареи. Транзистор T_2 при этом отопрется. Аналогичным образом отпирается транзистор T_3, и через первичную обмотку катушки зажигания идет ток. Дроссели $Др_1$—$Др_3$ обеспечивают ускорение переключения транзисторов за счет возникновения колебательного процесса в цепи управления. Конденсатор C_1 блокировочный. При запуске двигателя от стартера резисторы R_{10} и R_{11}, которые выполняют совместно с резистором R_9 роль вариатора, замыкаются специальным контактом *КС*, имеющимся на статоре.

В системе применены следующие элементы· резисторы R_1—R_3 типа МЛТ-2, резисторы R_4—R_8 и R_{10} типа ПЭВ-10, резистор R_9 типа УЛМ-0,12, резистор R_{11} проволочный по ГОСТ 3940-57, конденсатор C_1 типа МБМ на рабочее напряжение 160 *в*.

Дроссели $Др_1$—$Др_3$ имеют индуктивность порядка 0,35—0,5 *мкгн* и могут быть намотаны на кольцевом ферритовом сердечнике 20×10×5 *мм*. Дроссели наматываются проводом ПЭЛ диаметром 0,4 *мм* и имеют по 50 витков.

Конструктивно прибор выполнен в виде блока размерами 154×86×105 *мм*. Прибор устанавливается в кабине автомобиля. При установке прибора в автомобиле должен быть отключен конденсатор, шунтирующий контакты прерывателя, так как он значительно увеличивает время запирания транзисторов. Дополнительно от системы электропитания автомобиля прибор потребляет ток 0,8—0,9 *а*.

На рис. 35 приведена принципиальная схема конденсаторной системы зажигания, хорошо зарекомендовавшая себя на практике.

В схеме использован транзисторный преобразователь напряжения, принцип работы которого был описан выше (см. рис. 16). В преобразователе имеется отвод от средней точки вторичной обмотки трансформатора, который используется для подключения к схеме электробритвы на напряжение 127 *в*.

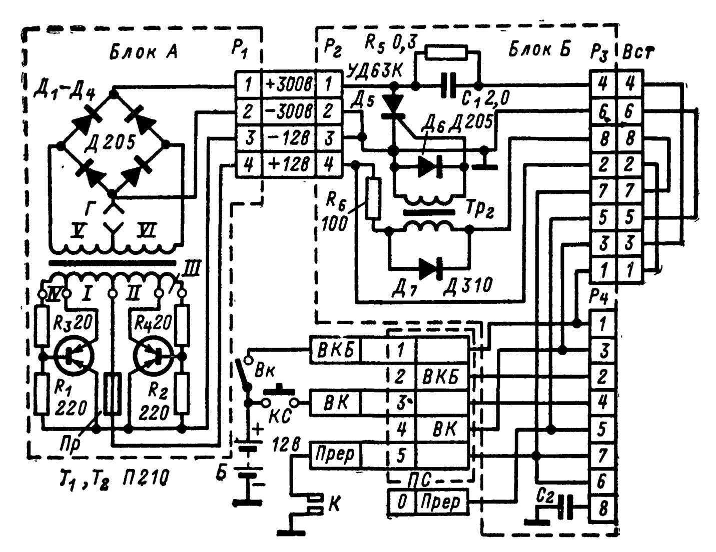


Рис. 35. Практическая схема конденсаторной системы зажигания.

Система управления тиристором в схеме подобна приведенной на рис. 21. В качестве трансформатора $Тр_1$ использован малогабаритный импульсный трансформатор МИТ-4. При использовании импульсного трансформатора, индуктивность обмоток которого мала, нарастание тока в первичной обмотке происходит за весьма малое время, которое недостаточно для защиты от «дребезга» контактов прерывателя. Для защиты от «дребезга» контактов прерывателя служит диод $Д_7$. За время переходного процесса ток через диод $Д_7$ уменьшается, а ток в первичной обмотке трансформатора $Тр_2$ — увеличивается. Параметры схемы выбраны таким образом, что время, за которое ток в первичной обмотке трансформатора $Тр_2$ нарастает до величины, достаточной для срабатывания тиристора при размыкании контактов прерывателя *К*, составляет примерно 1 *мсек*, и, таким образом, происходит защита от «дребезга».

Наличие третьей обмотки в импульсном трансформаторе (на схеме не показана) позволяет легко осуществить, в случае необходимости, запуск двух тиристоров, включенных последовательно.

В описываемой системе схема коммутации обеспечивает быстрый переход от электронной системы зажигания к обычной, электроме-

ханической. Коммутация осуществляется с помощью разъемов P_1 и P_2. Подключение электронной системы к схеме электропитания автомобиля осуществляется с помощью соединительной планки *ПС*. Переход от электронной системы зажигания к электромеханической производится путем подключения вставки *Вст* с соответствующими перемычками к разъемам P_3 и P_4. При подключении ее к разъему P_3

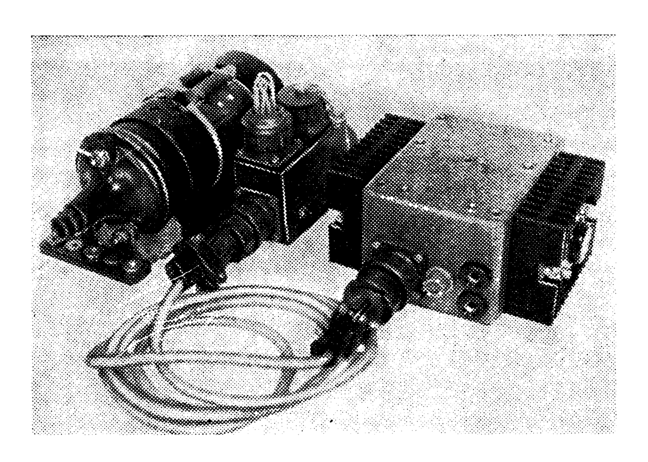


Рис. 36. Общий вид конденсаторной системы зажигания.

работает электронная система зажигания (как показано на схеме), а при подключении к разъему P_4 — электромеханическая система. Следует отметить, что в данной схеме конденсатор, включенный обычно параллельно контактам прерывателя, перенесен с распределителя в блок *Б* (конденсатор C_2) и при работе электронной системы зажигания отключается.

Соединительная планка *ПС* служит для удобства подключения системы в схему электрооборудования автомобиля. Как известно, в электромеханической системе зажигания к катушке зажигания подходят три провода. Первый идет от ключа зажигания к выводу, обозначенному на схеме *ВКБ*, второй — от контактов стартера к выводу, обозначенному *ВК*, и третий — от прерывателя к выводу, обозначенному на схеме *О*.

Соединительная планка *ПС* крепится непосредственно к выводам *ВКБ* и *ВК* катушки зажигания при помощи специальных кронштейнов. При этом провод, который раньше шел к выводу *ВКБ*, присоединяется к выводу *1* планки, провод, который раньше шел к выводу *ВК*, присоединен к выводу *3*, а провод, идущий от прерывателя, присоединяется к выводу *5*. Отдельный проводник, выходящий из блока *Б*, подключается к выводу *С* катушки зажигания.

Приведенная схема коммутации весьма проста и удобна в эксплуатации. Кроме того, она служит надежной защитой от злоумышленников, так как при изъятии вставки *Вст* завести двигатель невозможно.

Конструктивно система выполнена в виде двух блоков. В первом блоке *А*, который размещается в кабине автомобиля, смонтирован преобразователь напряжения, а во втором *Б*, который крепится непосредственно на катушке зажигания под капотом, размещены остальные элементы схемы. Общий вид системы приведен на рис. 36.

Трансформатор $Тр_1$ преобразователя намотан на кольцевом витом сердечнике из материала 34НКМП толщиной 0,1 *мм*. Сердечник имеет внутренний диаметр 36 *мм*, наружный диаметр 56 *мм* при высоте ленты 10 *мм*. Обмотки *I* и *II* (рис. 37) имеют по 43 витка про-

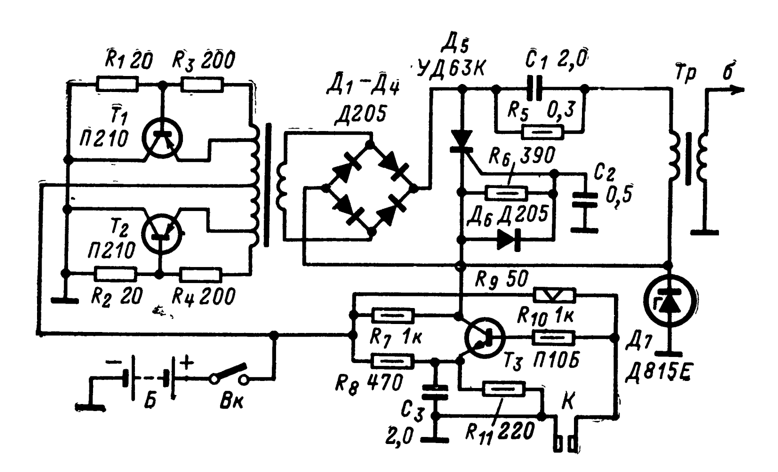


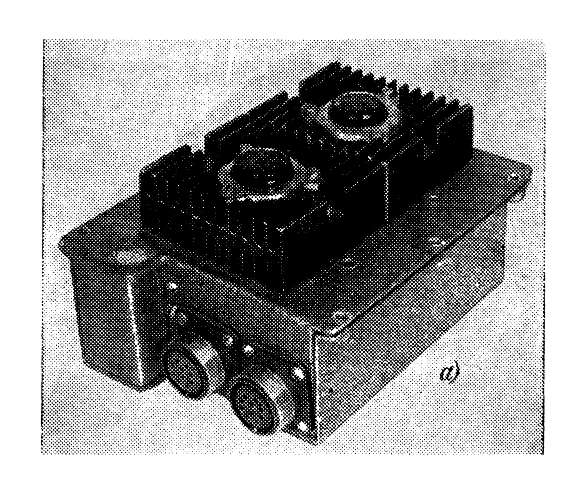
Рис. 37. Конденсаторная система зажигания.

вода диаметром 0,9 *мм*. Обмотки *III* и *IV* имеют по 14 витков провода диаметром 0,35 *мм*. Обмотки *V* и *VI* имеют по 790 витков провода диаметром 0,31 *мм*. Все обмотки намотаны проводом ПЭВ-2.

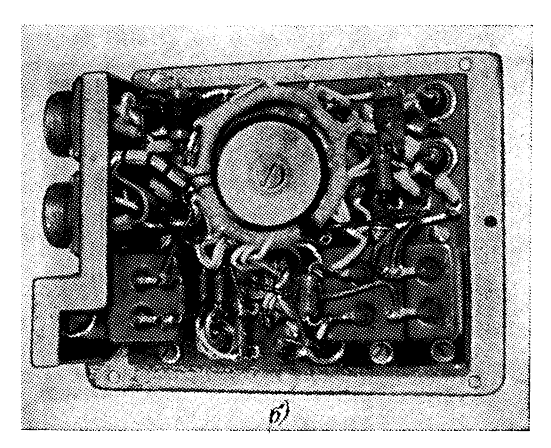
Типоразмер магнитопровода	Материал магнитопровода	Толщина пластин магнитопровода, *мм*	Параметры обмоток					
			Число витков (*I* и *II*)	Диаметр провода, *мм*	Число витков (*III* и *IV*)	Диаметр провода, *мм*	Число витков (*V* и *VI*)	Диаметр провода, *мм*
Витой разрезной ШЛ10×20	Э-350	0,08	23	0,86	7,5	0,35	400	0,23
Тороидальный 32/50-16	Э-350	0,08	32	1,16	11	0,35	550	0,31
Ш16×16	Э-350	0,15	35	1,0	10	0,3	570	0,2

В случае отсутствия указанного сердечника трансформатор может быть выполнен в соответствии с данными, приведенными в таблице. При указанных параметрах выходное напряжение преобразователя составляет 300 *в*. При питании от источника с напряжением 6 *в* число витков обмоток *I* и *II* следует уменьшить вдвое, а обмотку намотать в два провода.

Для лучшей симметрии генератора преобразователя одинаковые обмотки рекомендуется мотать в два провода с последующим соединением их концов в соответствии с принципиальной схемой. Сна-



а)



б)

Рис. 38. Конструкция конденсаторной системы.

а — общий вид; *б* — вид со стороны монтажа.

чала надо мотать обмотки *I* и *II*, затем симметрично им обмотки *III* и *IV*, а поверх них *V* и *VI*.

Кожух преобразователя является несущей конструкцией, к нему прикреплены трансформатор $Тр_1$, разъем $Р_1$ гнезда *Г*, предохранитель *Пр* и монтажная плата. На монтажной плате размещены диоды $Д_1$—$Д_4$, резисторы R_1—R_4 и цанги для зажима выводов транзисторов T_1 и T_2. Все элементы преобразователя, включая радиаторы транзисторов T_1 и T_2, изолированы от корпуса, что дает возможность использовать его в автомобилях, с корпусом которых могут быть соединены как плюс, так и минус аккумуляторной батареи.

Резисторы R_1—R_4 типа ПТМН-1 или любого другого типа, рассчитанного на мощность в 1 *вт*. Предохранитель *Пр* на ток 2 *а*.

Резистор R_5 типа МЛТ-0,5; резистор R_6 проволочный (может быть использован резистор типа МЛТ-2); конденсатор C_1 типа МБГО на напряжение 400 *в*. Малогабаритный импульсный трансформатор $Тр_2$ намотан на ферритовом сердечнике ($\mu=300$) с наружным диаметром 17 *мм*, внутренним — 7 *мм* и высотой 5 *мм* и имеет три одинаковые обмотки по 150 витков, намотанные проводом ПЭВ — диаметром 0,3 *мм*.

В заключение следует сказать, что правильно собранная схема в наладке не нуждается и работает весьма надежно.

На рис. 37 приведена еще одна схема конденсаторной системы зажигания. Преобразователь в этой схеме имеет те же данные, что и в предыдущей, а система управления тиристором подобна приведенной на рис. 20, *а*.

Конструктивно эта система выполнена в виде одного блока, внешний вид которого показан на рис. 38, *а*. Снаружи блока закреплены радиаторы с транзисторами преобразователя. Монтаж остальной части схемы осуществлен на гетинаксовой плате толщиной 4 *мм*, которая с помощью винтов крепится к кожуху блока. Все детали имеют механическое крепление к плате. Размещение деталей на плате хорошо видно на рис. 38, *б*.

Система коммутации на принципиальной схеме не изображена, но она может быть выполнена подобно приведенной схеме на рис. 35. В данном случае переход от электронной схемы к электромеханической производится подключением подводящего кабеля к разъему $Р_1$ или $Р_2$.

Резисторы R_5—R_8 и R_{10} типа МЛТ; резистор R_9 проволочный; конденсатор C_1 типа МБГО на напряжение 400 *в*; конденсаторы C_2 и C_3 типа МБГО на напряжение 160 *в*. Данная схема при правильной сборке не требует налаживания и надежна в эксплуатации.

СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ ДЛЯ ПОДВЕСНОГО ЛОДОЧНОГО МОТОРА

В качестве источника электроэнергии двухтактных двигателей, которые обычно применяются в подвесных моторах для лодок, как правило, используют магнето. Одним из основных его недостатков, сказывающихся в значительной мере на удобстве и надежности эксплуатации, является сильная зависимость величины выходного напряжения от скорости двигателя. На минимальных ра-

бочих оборотах (на холостом ходу двигателя) напряжение, вырабатываемое магнето, значительно меньше номинального, что естественно сопровождается уменьшением высокого напряжения. Поэтому на малых оборотах двухтактные двигатели обычно работают неустойчиво, причем значение минимальных устойчивых оборотов зависит как от качества горючей смеси, так и от марки бензина, от температуры воздуха и от общего состояния двигателя. Еще больше особенности магнето сказываются на надежности запуска двигателя. Для того чтобы получить высокое напряжение такой величины, которой достаточно для осуществления устойчивого зажигания, ротор магнето нужно раскрутить до вполне определенной скорости. Например, как следует из инструкции по эксплуатации для лодочного магнето МГ-10, эта скорость должна быть не менее 200 *об/мин*. В связи с тем, что запуск лодочного мотора осуществляется путем раскрутки маховика шнуром, для получения таких скоростей требуется сильный рывок, а чаще всего много рывков. Такой запуск весьма ненадежен.

Применение электронного зажигания для двухтактных двигателей в первую очередь решает задачи запуска двигателя и его устойчивой работы на малых оборотах. В этом смысле электронное зажигание дает существенный выигрыш и полностью оправдывает себя заметным улучшением эксплуатационных характеристик двигателя.

Ниже описана схема электронного зажигания, предназначенного для двухтактного двухцилиндрового двигателя с выносными катушками зажигания, например для мотора «Вихрь». В связи с тем что двухцилиндровые двигатели обычно имеют отдельную систему зажигания для каждого цилиндра, электронная система состоит из двух независимых каналов искрообразования (накопителей), питаемых от общего источника напряжения. Полная схема системы зажигания

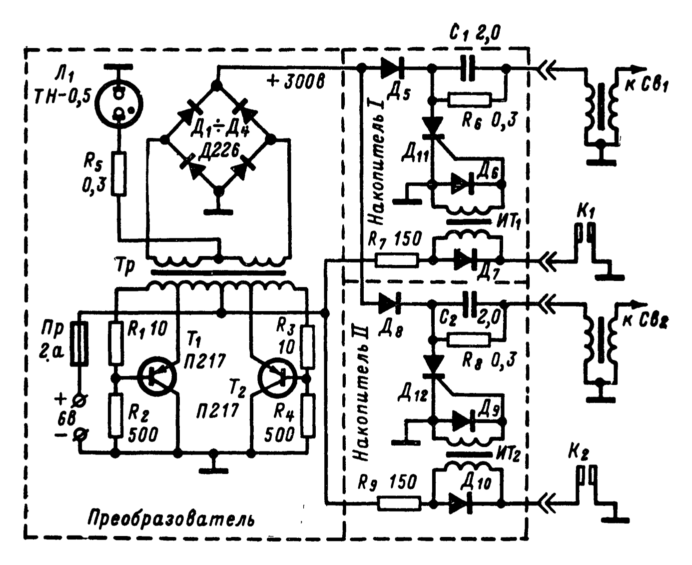


Рис. 39. Принципиальная схема двухканальной системы зажигания.

приведена на рис. 39. В момент, когда должна быть образована искра в цилиндре, размыкается синхронизованный с вращением вала двигателя контакт прерывателя, соответствующий этому цилиндру, и происходит заряд накопительного конденсатора через первичную обмотку катушки зажигания.

Диоды $Д_5$ и $Д_8$ служат для развязки накопителей. Когда включается один из тиристоров, например в накопителе *I*, и начинается разряд конденсатора C_1, напряжение на шине 300 *в* уменьшается и диод $Д_8$ второго накопителя запирается. В результате этого исключается опасность разряда конденсатора C_2 через тиристор первого накопителя. Аналогично работает и диод $Д_5$. Неоновая лампа $Л_1$ служит для индикации того, что преобразователь работает, и на его вторичных зажимах имеется напряжение. Резистор R_5 ограничивает ток через неоновую лампу.

Параметры накопителей выбраны такими, что система обеспечивает постоянную энергию искры при всех режимах работы лодочного мотора. Предохранитель *Пр* рассчитан на ток 2 *а*. В преобразователе вместо транзисторов П217 можно использовать другие мощные транзисторы: П4, П216, П210 и др. Диоды $Д_1$—$Д_4$ должны иметь рабочее напряжение не менее 450 *в*. Диоды $Д_5$—$Д_{10}$ типа Д229Б; конденсаторы C_1 и C_2 типа МБГО, на рабочее напряжение 400 *в*; резисторы R_5, R_6, R_8 типа МЛТ-0,5; R_1, R_3 типа ПТМН-1 или любого другого; R_2, R_4, R_7, R_9 типа МТЛ-2,0.

Тиристоры $Д_{11}$ и $Д_{12}$ должны иметь рабочее напряжение не менее 400 *в*. В частности, в описываемом приборе применены тиристоры типа КУ202К, подобранные так, что их напряжение включения превышает 350 *в*. Трансформатор *Тр* имеет сердечник тороидального типа. Сердечник витой, кольцевой, размерами $10 \times 36 \times 56$ *мм* из материала 35НКМП. Обмотки *I* и *II* имеют по 19 витков провода ПЭЛ диаметром 1,16 *мм*; обмотки *III* и *IV* — по 10 витков провода ПЭЛ диаметром 0,24 *мм*; обмотки *V* и *VI* — по 565 витков провода ПЭЛ диаметром 0,18 *мм*. Для обеспечения симметрии плеч преобразователя парные обмотки рекомендуется наматывать в два провода с последующим соединением в соответствии с принципиальной схемой. Сначала наматываются обмотки *V* и *VI*, затем *III* и *II*, затем две оставшиеся. Трансформатор для водонепроницаемости залит эпоксидной смолой.

Малогабаритный импульсный трансформатор *ИТ* намотан на ферритовом кольце сердечника с $\mu = 300$, наружный диаметр которого 17, внутренний 7 и высота 5 *мм*. Трансформатор имеет две одинаковые обмотки по 100 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,15 *мм*.

Конструктивно электронная схема выполнена в виде двух приборов, внешний вид которых показан на рис. 40. В одном из приборов собран преобразователь напряжения, в другом — оба канала накопителя энергии. В случае применения электронного зажигания для лодочного мотора такое конструктивное оформление очень удобно в силу того, что накопители всегда желательно располагать как можно ближе к катушкам зажигания, чтобы сохранить наибольшую скорость нарастания напряжения на первичных обмотках, а преобразователь в принципе может располагаться в любом месте лодки.

При изготовлении приборов был использован печатный монтаж. На рис. 41 приведены фотографии преобразователя (*а*) и накопителя (*б*). Части принципиальной схемы электронного зажигания, которые размещены на каждой из плат накопителей *I* и *II* преобразователя, выделены на рис. 39 пунктирными контурами. Транзисторы

преобразователя закреплены на радиаторе, одновременно выполняющем роль передней стенки прибора. Плата крепится к радиатору уголком. К плате через разъем, укрепленный на кожухе, подводится напряжение 12 *в* от аккумулятора. С платы на накопители поступает напряжение 300 *в*. Кроме того, с платы снимается через балластное сопротивление напряжение на неоновую индикаторную лампу, устанавливаемую на приборной доске катера. Кожух преобразователя имеет размеры 42×80×110 *мм* и изготовлен из алюминиевого листа толщиной 0,5 *мм*.

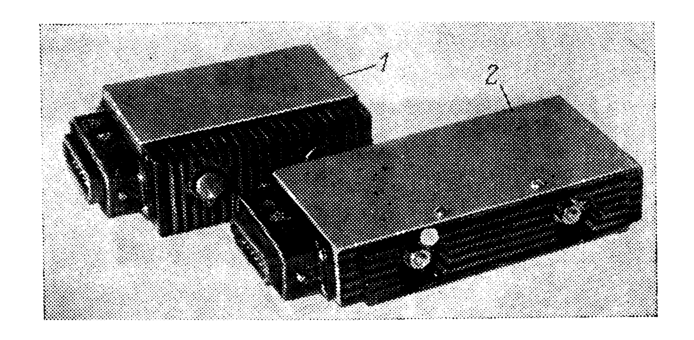


Рис. 40. Внешний вид системы.

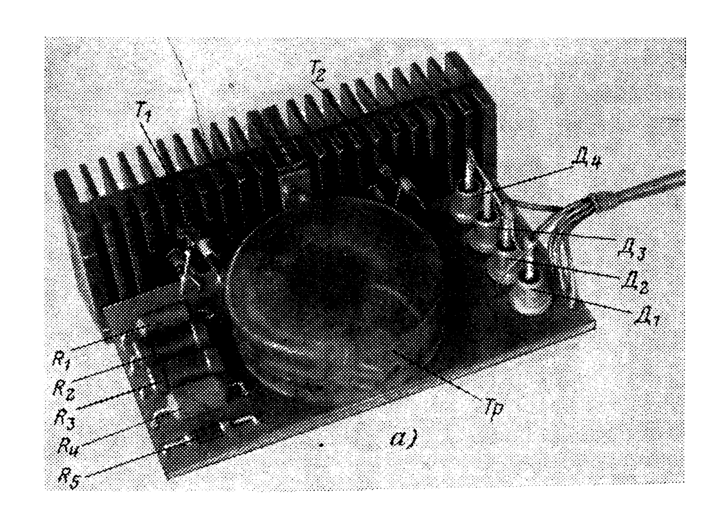
1 — блок преобразователя; *2* — блок каналов накопления энергии.

Каждый канал накопителя выполнен на отдельной плате. Тиристор канала установлен на радиаторе, являющемся одновременно передней стенкой прибора. Обе платы накопителей устанавливаются в одном кожухе размером 30×70×158 *мм* из алюминиевого листа. На каждый канал подается напряжение 300 *в* от преобразователя через общий разъем. Каналы преобразователя также соединены с соответствующими контактами прерывателя и с первичной обмоткой катушек зажигания в соответствии с принципиальной схемой.

Особенность двухтактного лодочного мотора, заключающаяся в наличии магнето, можно использовать для создания системы электронного зажигания, которая работает без аккумулятора и не нуждается в контактном прерывателе. Магнето совмещает в этом случае функции источника электроэнергии для работы зажигания и функции датчика положения коленчатого вала и генератора, синхронизирующего систему зажигания сигнала.

При вращении маховика, на котором закреплены магнитные башмаки магнето, в катушке магнето индуцируются импульсы напряжения, осциллограмма которых приведена на рис. 42.

Они образуются следующим образом. При вращении маховика с магнитными башмаками *N* и *S* (рис. 42, *а*) по часовой стрелке сначала с полюсным наконечником сердечника катушки *М* магнето совмещается один башмак *S*. Магнитный поток замыкается через сердечник катушки, воздушный зазор между полюсным наконечником и маховиком и по массе маховика. Зазор между полюсным на-



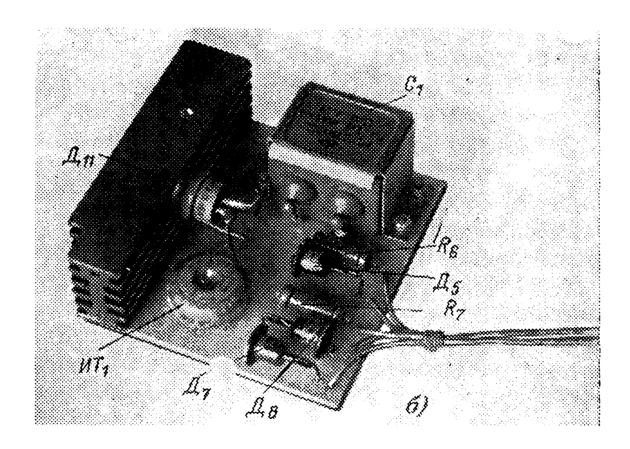


Рис. 41. Вид платы преобразователя (*а*) и канала накопления энергии (*б*).

конечником сердечника и маховиком большой, поэтому амплитуда генерируемого в результате нарастания магнитного потока импульса на зажимах обмотки невелика. При дальнейшем вращении маховика происходит совмещение обоих магнитных башмаков с полюсными наконечниками катушки. Но так как в этом случае напротив первого по ходу маховика полюсного наконечника оказывается магнитный башмак *N* противоположной полярности, то теперь направление маг-

нитного потока изменяется на противоположное. **Генерируемый** импульс имеет обратную предыдущему полярность (на рис. 42, *а* положительный) и значительно большую амплитуду, так как воздушные зазоры при таком расположении маховика малы (рис. 42, *б*). При дальнейшем вращении маховика снова генерируется импульс меньшей амплитуды и другой полярности, как это видно из рис. 42, *в*.

Таким образом, на каждую пару магнитных башмаков, закрепленную на маховике, генерируются один импульс положительной полярности большой амплитуды и два импульса отрицательной полярности малой амплитуды, расставленные симметрично относительно положительного импульса. Здесь понятия «положительный» и «отрицательный» применяются условно, так как все зависит от того, как включена катушка магнето.

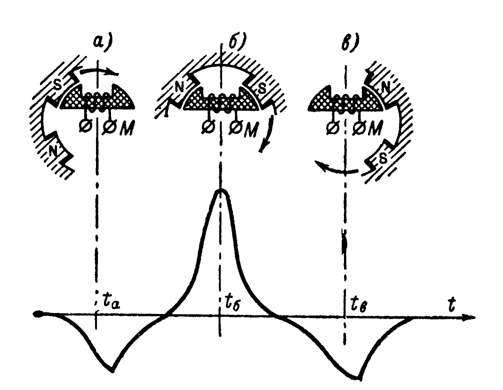


Рис. 42. Принцип образования разнополярных импульсов на катушке магнето.

Расстановка всех трех импульсов во времени постоянная и определяется лишь угловым расстоянием между полюсными наконечниками.

В подвесных моторах «Стрела», «Ветерок», «Москва», форма магнитопровода несколько другая, чем в моторах «Вихрь». Для таких магнитопроводов осциллограмма напряжений имеет отличный вид. Здесь возникают три положительных импульса и, соответственно, два отрицательных. Однако это различие не сказывается на работе системы зажигания, так как в процессе зажигания участвуют лишь первый отрицательный и второй положительный импульсы.

Принцип работы бесконтактной системы зажигания заключается в том, что большой импульс используется для заряда накопительного конденсатора C (рис. 43), а следующий за ним импульс обратной полярности поступает в цепь запуска тиристора $Д_5$, определяя момент открывания тиристора и формирования искры. Диод $Д_1$ играет роль ключа, пропуская положительный импульс на зарядку накопительного конденсатора. Диод $Д_2$ пропускает на управляющий электрод тиристора лишь импульсы одной полярности. Резистор R_1 ограничивает ток в цепи запуска. Для уменьшения напряжения и времени переходного процесса первичная обмотка катушки зажигания зашун-

тирована диодом $Д_2$. Для двухцилиндрованного мотора используется система зажигания, состоящая из двух одинаковых каналов. Обмотки $Тр_1$ и $Тр_2$ размещены на одном каркасе. Сердечником служит стандартный магнитопровод магнето. Обмотка $Тр_1$ имеет 2 000 витков провода ПЭВ диаметром 0,23 *мм*, а обмотка $Тр_2$ — 700 витков провода ПЭЛШО диаметром 0,15 *мм*. Здесь же размещены тиристоры и накопительные конденсаторы. Для ограничения напряжения на управляющем электроде тиристора цепь запуска шунтируется кремниевым стабилитроном $Д_4$. Используются тиристоры КУ202М или КУ202Н с напряжением включения не менее 400 *в*. Диоды $Д_1$—$Д_3$ кремниевые типа Д217. Конденсатор *С* типа МБГП-2, на рабочее

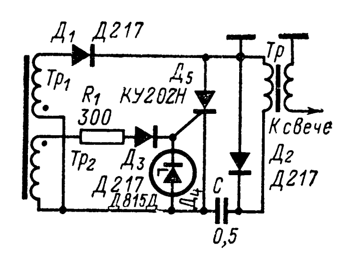


Рис. 43. Принципиальная схема бесконтактной системы зажигания для лодочного мотора.

напряжение 600 *в*, стабилитрон $Д_4$ типа Д815Д, резистор R_1 типа МЛТ-2. Две выносные катушки зажигания (по числу цилиндров) устанавливаются в любом месте на моторе.

Для одноцилиндрового мотора трансформатор запуска $Тр_2$ удобно изготовить на отдельном сердечнике. Этот сердечник располагается на месте крепления контактов прерывателя, так что момент возникновения управляющего импульса будет соответствовать моменту, когда должны размыкаться контакты прерывателя. Оба трансформатора ($Тр_1$ и $Тр_2$) имеют те же параметры, что и для двухцилиндрового мотора. Все прочие детали электронного зажигания и выносная катушка зажигания располагаются в любом месте на моторе.

Для предохранения катушки от пробоя при неисправной или вывернутой свече, а также для проверки работы системы зажигания между высоковольтным выводом катушки зажигания и массой мотора устанавливается разрядник с промежутком длиной 8—12 *мм*.

Описанная система обладает высокой стабильностью момента искрообразования, не подвержена опасности загрязнения и обгорания контактов, не требует периодической регулировки контактов.

ПРИБОРЫ ДЛЯ РЕГУЛИРОВКИ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

ФОРМА ИМПУЛЬСОВ НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ ЗАЖИГАНИЯ

Регулировка системы зажигания сводится к установке правильных временных соотношений между различными **этапами цикла** зажигания, а также к определению неисправности элементов системы и отысканию неисправного элемента. В связи с большим ко-

личеством элементов в системе зажигания и отсутствием в большинстве случаев явных признаков, указывающих на неисправность этих элементов, определение неисправности обычно производится по косвенным признакам.

Качество работы системы зажигания определяется по форме импульсов напряжения, вырабатываемых системой.

Для того чтобы продемонстрировать влияние неисправности различных элементов системы зажигания на форму импульсов напряжения в пределах цикла зажигания, рассмотрим подробно формирование импульса зажигания. На рис. 44 приведены простейшие экви-

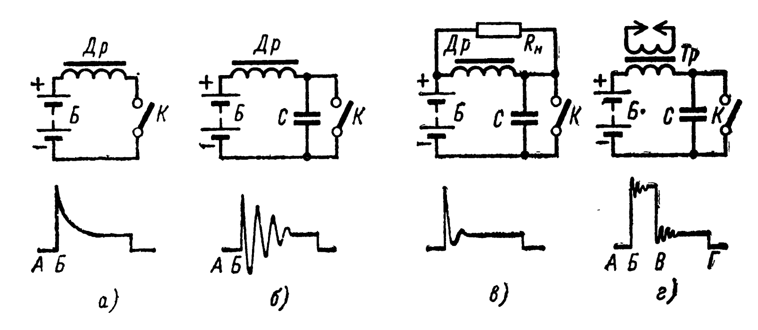


Рис. 44. Эквивалентные схемы контура и соответствующие им формы импульсов напряжения на контактах прерывателя для различных условий работы.

валентные схемы контура, образованного элементами системы зажигания, и соответствующие осциллограммы напряжения на контактах прерывателя.

При замыкании ключа *К* (соответствующего контактам прерывателя) в момент *А* (рис. 44, *а*) через катушку начинает протекать ток батареи. Этот ток не создает падения напряжения на ключе, так как переходное сопротивление его контактов практически равно нулю. В момент *Б* ключ размыкается, и ток через его контакты прекращается. Так как скорость исчезновения магнитного потока, пронизывающего катушку, велика, то индуцируемое напряжение на разомкнутом ключе достигает в первый момент нескольких сотен вольт и быстро уменьшается до значения, равного напряжению батареи.

При подключении параллельно ключу конденсатора (рис. 44, *б*) осциллограмма напряжения на ключе резко изменяется. В интервале *А—Б* напряжение на ключе по-прежнему равно нулю, а при размыкании контактов индуктируется высокое напряжение. Однако за счет колебательного процесса в системе конденсатор — первичная обмотка напряжение на ключе после размыкания контактов имеет вид затухающей синусоиды

В том случае, когда катушка индуктивности контура зашунтирована резистором, часть тока протекает через резистор, минуя катушку, что приводит к уменьшению амплитуды колебаний и сокращению длительности колебательного процесса в контуре. Из осциллограммы на рис. 44, *в* видно, что форма напряжения на контактах

прерывателя и на конденсаторе в этом случае близка к форме напряжения, характерной для контура, приведенного на рис. 44, *а*.

И, наконец, на рис. 44, *г* показан случай, когда катушка имеет вторичную обмотку, выводы которой разделяет лишь узкий воздушный зазор. Когда в момент *Б* ключ размыкается, происходит заряд конденсатора до пикового значения напряжения, как и в случае, приведенном на рис. 44, *б*, а во вторичной обмотке катушки индуцируется высокое напряжение. В результате образования дугового разряда между выводами вторичной обмотки возникает ток, создающий магнитное поле, которое индуцирует на первичной обмотке напряжение, противодействующее разряду конденсатора. В результате напряжение на конденсаторе при разомкнутом ключе остается неизменным в течение всего времени, пока длится дуговой разряд (участок *Б—В*). Небольшой колебательный процесс, накладывающийся на это постоянное напряжение, обусловлен паразитным резонансом во вторичной цепи. Когда запасенной в катушке энергии становится недостаточно для поддержания дугового разряда, ток в воздушном зазоре прекращается и конденсатор начинает разряжаться, как и в предыдущем случае (участок *В—Г*). Остаток энергии расходуется на колебательный процесс в первичной цепи.

Таким образом, высокочастотные колебания в начале импульса зажигания обусловлены колебательным процессом в системе конденсатор — первичная обмотка катушки зажигания при размыкании контактов прерывателя. Длительность импульса зажигания определяется запасом энергии в обмотке катушки зажигания. Высокочастотные колебания на спаде импульса зажигания отражают процесс рассеяния остаточной энергии в катушке зажигания после прекращения искрового разряда. Постоянный уровень соответствует напряжению аккумуляторной батареи на разомкнутых контактах.

На рис. 45 приведены осциллограммы напряжения на контактах прерывателя реальной электромеханической системы зажигания четырехцилиндрового двигателя. На рис. 45, *а* показана последовательность импульсов напряжения, распределяемых по четырем цилиндрам двигателя с помощью распределителя, для исправной системы зажигания. Форма каждого импульса здесь полностью соответствует импульсам, показанным на рис. 44, *г*. Отсутствие искрового разряда в одной из свечей вследствие слишком большого воздушного зазора или из-за неисправности распределителя или подводящего провода эквивалентно отсутствию вторичной цепи (рис. 44, *б*). Такой случай показан на рис. 45, *б* для четвертого цилиндра и на рис. 45, *ж* сразу для двух цилиндров.

Если в цепи свечи имеется короткое замыкание, то импульс на контактах прерывателя имеет малую амплитуду и расширен по сравнению с импульсами других цилиндров, однако форма его напоминает нормальные импульсы (рис. 45, *в*). Это объясняется тем, что искровой разряд происходит в узком зазоре между ротором и контактной ламелью распределителя. Такая же форма импульса наблюдается и при очень малом зазоре между электродами свечи.

При загрязненной свече, лопнувшем изоляторе и других неисправностях свечи, приводящих к шунтированию искрового промежутка, искры не возникает. Об этих неисправностях можно судить по наличию небольшой плоской вершины импульса (рис. 45, *г*). Заметим, что этот случай напоминает работу эквивалентной схемы на рис. 44, *а*. Спадающая часть импульса обусловлена наличием шунтирующего сопротивления. Однако по осциллограмме видно, что

после прекращения искры форма напряжения соответствует нормальному случаю. Это значит, что шунтирующее сопротивление действует лишь во время искрового пробоя, т. е. оно находится во вторичной цепи.

На рис. 45, *д* показано, что замыкание и размыкание контактов прерывателя происходят нечетко. Причиной этого является загрязненный или неисправный контакт прерывателя, разболтанное крепление оси контактов или слабое натяжение пружины, приводящее к дребезгу.

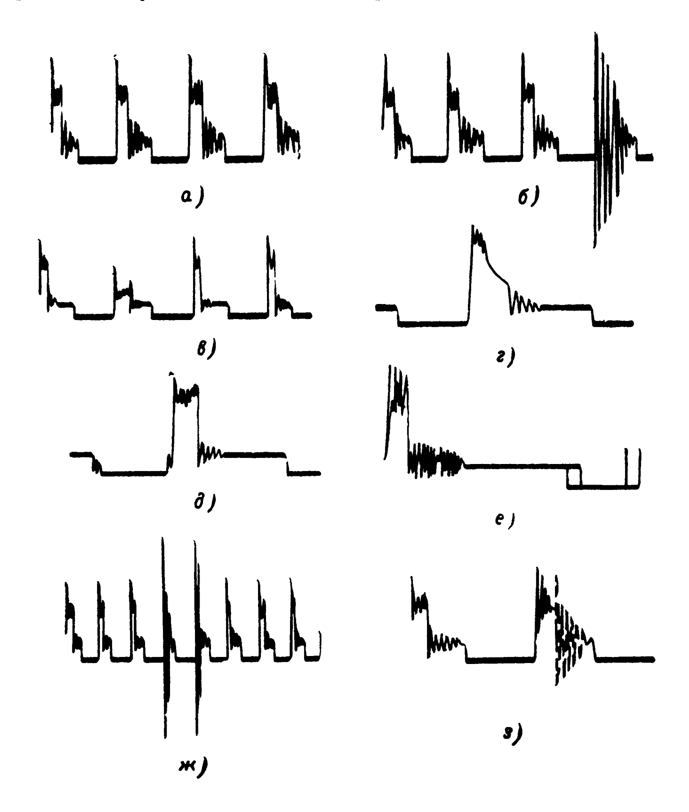


Рис. 45. Осциллограммы напряжения на контактах прерывателя.

Из рис. 45, *е* видно, что от импульса к импульсу моменты замыкания и размыкания контактов не совпадают. Осциллограмма снята при условии синхронизации развертки осциллографа каждым импульсом. Такая картина говорит о дефекте провода, дефекте крепления контактов прерывателя или о качании оси распределителя.

Характер процессов, происходящих в интервале от момента

окончания искрового разряда до замыкания контактов, позволяет судить о качестве первичной цепи. Этот интервал связан с рассеянием энергии в первичной цепи, и основными причинами отклонения формы напряжения от нормы здесь являются дефекты конденсатора или повышенное сопротивление первичной цепи (рис. 45, *з*).

Следует отметить, что в электронной системе зажигания форма напряжения на контактах прерывателя имеет почти прямоугольную форму (см. рис. 5, *в*) и осциллографическая индикация этого напряжения позволит судить лишь о регулировке контактов прерывателя и исправности цепи, в которую включен прерыватель. Диагностика электронной системы зажигания осуществляется по форме напряжения на первичной обмотке катушки зажигания (рис. 5, *б*) с помощью тех же осциллоскопических анализаторов зажигания, которые используются для электромеханических систем.

ОСЦИЛЛОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗАТОР ЗАЖИГАНИЯ

Применение прибора, позволяющего исследовать форму напряжения на контактах прерывателя, значительно облегчает и упрощает работы, связанные с обслуживанием систем зажигания: контроль и регулировку систем, отыскание неисправностей. Эффективность такого прибора особенно очевидна, если учесть, что перебои в работе двигателей внутреннего сгорания в 80% случаев вызваны неисправностями в системе зажигания, а поиски неисправностей обычно производятся вслепую Для наблюдения формы импульсов напряжения на контактах прерывателя двигателя внутреннего сгорания может быть применен специализированный осциллоскоп, обычно называемый анализатором зажигания, имеющий развертку с хорошей синхронизацией и упрощенную схему усиления сигнала. Для осуществления развертки каждого импульса в отдельности длительность развертки выбирается не большей, чем период повторения импульсов, величина которого обратно пропорциональна числу оборотов вала двигателя. Если система зажигания работает нормально, то все импульсы сливаются в единое изображение. При неисправностях в первичной цепи все импульсы также сливаются, однако форма их искажена. При неисправностях во вторичной цепи искажается форма лишь того импульса, который соответствует неисправной цепи. Для быстрого определения этой цепи удобно развернуть на экране анализатора всю последовательность импульсов — четыре импульса для четырехцилиндрового двигателя, шесть импульсов для шестицилиндрового и т. д. Тогда первым импульсом на развертке будет импульс того цилиндра, от которого производится запуск развертки. Порядок расположения следующих импульсов будет соответствовать порядку распределения зажигания между цилиндрами, установленному для данного двигателя. В этом случае легко определяются как номер цилиндра, цепь зажигания которого неисправна, так и причина неисправности.

Сигнал запуска развертки снимается с одного из высоковольтных приводов, соединяющих свечи с распределителем. Для наблюдения импульса лишь в одном цилиндре запуск развертки производится от высоковольтного провода, подающего импульс на этот цилиндр, а для наблюдения каждого импульса прерывателя, для их

сравнения импульс на запуск развертки снимается с центрального провода распределителя.

В связи с тем что амплитуда подводимого к свече импульса достигает десятков киловольт, для получения запускающего импульса на зажиме анализатора достаточно очень слабой связи между этим зажимом и проводом, по которому проходит импульс.

Практически достаточно емкостной связи, имеющей место между зажимом провода, соединенного с клеммой запуска развертки, и

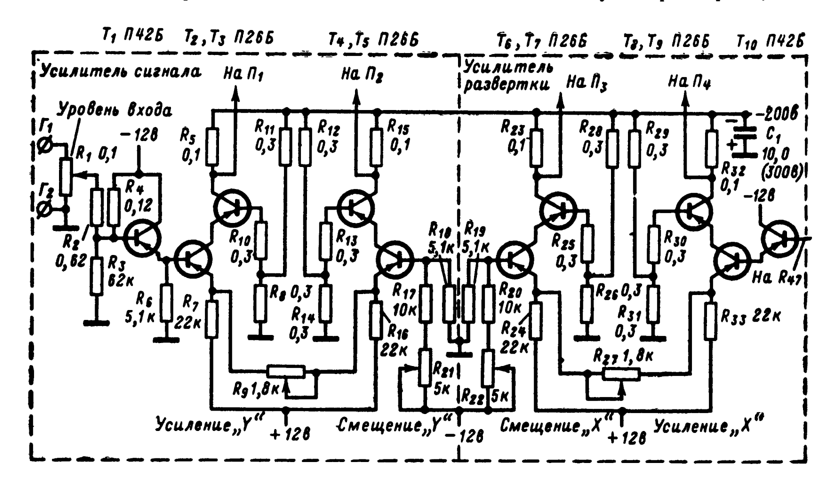


Рис. 46. Принципиальная схема усилителей напряжения сигнала и развертки.

высоковольтным проводом распределителя, когда зажим закреплен за внешнюю изоляцию этого высоковольтного провода.

Импульс прерывателя, подаваемый на сигнальный вход анализатора, снимается с клеммы, расположенной на корпусе прерывателя-распределителя. Эта клемма служит для присоединения к прерывателю первичной обмотки катушки зажигания. Естественно, что общий провод анализатора должен быть соединен с корпусом двигателя.

Принципиальная схема усилителей напряжений сигнала и развертки приведена на рис. 46. Импульсный сигнал прерывателя через входное гнездо $Г_1$ поступает на входной усилитель постоянного тока (эмиттерный повторитель) на транзисторе T_1. Потенциометрический делитель напряжения R_1 позволяет регулировать величину входного сигнала. С эмиттера транзистора T_1 напряжение сигнала поступает на вход симметричного усилителя, каждое плечо которого образовано двумя транзисторами T_2, T_3 и T_4, T_5, включенными по каскодной схеме. В цепи смещения базы транзистора T_5 установлен потенциометр R_{21}, регулировка которого позволяет изменять баланс токов в транзисторах. В результате такой регулировки происходит разбаланс симметричного усилителя, что проявляется в виде смещения луча по вертикали. Таким образом, потенциометром R_{21} осуществляется

смещение луча по оси Y. Сквозное усиление канала сигнала регулируется путем изменения величины отрицательной обратной связи в эмиттерных цепях усилителя регулировкой сопротивления переменного резистора R_9.

Применение симметричного каскодного усилителя на выходе канала усиления сигнала диктуется необходимостью получения значительной амплитуды для отклонения луча на экране трубки. Удовлетворительный размер изображения достигается при подаче на пластины трубки сигнала с амплитудой напряжения порядка 100—150 *в*. В то же время наиболее высоковольтные транзисторы имеют допустимое коллекторное напряжение не более 100 *в*. Включение последовательно двух транзисторов в усилителе позволяет увеличить коллекторное напряжение вдвое, так как напряжение питания и сигнала делится между двумя транзисторами.

Рабочая точка каждого выходного усилителя задается делителями напряжения на резисторах в цепях базы транзисторов. Коллекторной нагрузкой служат резисторы R_5 и R_{15}. Коллекторы выходных транзисторов T_3 и T_4 непосредственно соединены с вертикально отклоняющими пластинами электроннолучевой трубки *ЭЛ* (пластины $П_1$ и $П_2$).

Усилитель развертки состоит из входного эмиттерного повторителя на транзисторе T_{10}, согласующего генератор развертки с низкоомным входом усилителя горизонтального отклонения, и из симметричного каскодного выходного усилителя, полностью подобного выходному усилителю канала сигнала. Режим пар транзисторов T_6 T_7 и T_8 T_9 определяется резисторами R_{25}—R_{31}. Переменным резистором R_{22} регулируется ток одного плеча симметричного усилителя, чем достигается разбаланс усилителей. В результате этого начальное положение луча развертки смещается по горизонтали, обеспечивая регулировку по оси X. Сквозное усиление канала развертки регулируется путем изменения величины отрицательной обратной связи в эмиттерных цепях каскодных пар резистором R_{27}. Схема генератора развертки приведена на рис. 47.

Генератором развертки служит мультивибратор на транзисторах T_{13} и T_{15}. В начальный момент транзистор T_{13} открыт за счет смещения, образованного цепью из резисторов R_{40}, R_{43} и R_{44}. Протекающий через транзистор T_{13} ток создает на резисторе R_{41} падение напряжения, запирающее транзистор T_{15}. В таком положении мультивибратор находится до тех пор, пока на базу транзистора T_{15} не поступит отпирающее напряжение с одного из конденсаторов развертки C_9—C_{14}. Пилообразное напряжение развертки формируется при заряде одного из времязадающих конденсаторов от источника напряжения 200 *в* через резисторы R_{46}, R_{47} и R_{48}. Использование высокого напряжения для зарядки конденсатора позволяет получить хорошую линейность развертки, так как собственно развертка получается на самом начальном участке экспоненты заряда, имеющем достаточную линейность. При достижении зарядным напряжением на конденсаторе величины, равной запирающему напряжению на эмиттерном сопротивлении мультивибратора R_{41}, транзистор T_{15} откроется, напряжение на его коллекторе уменьшится, ток через резистор R_{43} уменьшится и тразистор T_{13} закроется. Конденсатор разряжается через диод $Д_1$ и резистор R_{41}. Когда конденсатор разрядится, транзистор T_{15} закроется, транзистор T_{13} откроется и диод $Д_1$ будет заперт. Сменой конденсаторов C_9—C_{14} скорость развертки ступенчато изменяется. Регулировка резистора R_{48} позволяет изме-

нять ее плавно в пределах диапазона, определенного выбранным конденсатором. Пилообразное напряжение подается с зарядного конденсатора на базу эмиттерного повторителя T_{10} канала развертки.

Синхронизация развертки осуществляется сигналами, снимаемыми с усилителя синхронизации на транзисторах T_{12}, T_{11}. Сигнал синхронизации подается на входное гнездо $Г_3$. Глубина синхронизации регулируется потенциометром R_{34} в цепи базы транзистора T_{11}. Усиленный двухкаскадным усилителем сигнал синхронизации дифференцируется цепью, состоящей из конденсатора C_3 и резистора R_{40},

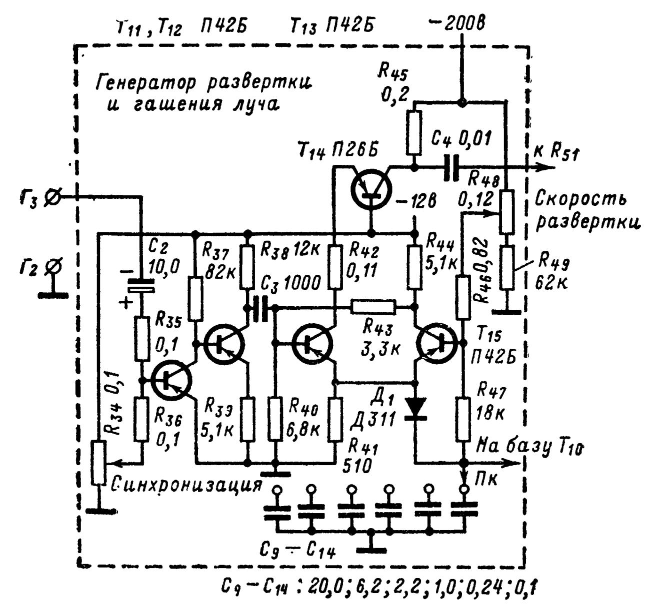


Рис. 47. Схема генератора развертки и сигнала гашения луча.

и поступает на базу транзистора T_{13}, закрывая его. Происходит изменение состояния мультивибратора, зарядный конденсатор разряжается, и начинается развертка с некоторым опозданием относительно синхронизирующего сигнала.

Для гашения обратного хода луча используется импульс на коллекторе транзистора T_{13}, образующийся на время разряда зарядной емкости, когда этот транзистор заперт. Импульс поступает на усилитель с общей базой, состоящий из транзистора T_{14} и коллекторной нагрузки R_{45}. Усиленный транзистором отрицательный импульс через конденсатор C_4 поступает на модулятор и запирает его на время обратного хода луча.

В качестве источника питания прибора (рис. 48) используется работающий от аккумулятора преобразователь напряжения на транзисторах T_{16} и T_{17}. С обмотки *III* преобразователя снимается напря-

жение 6,3 *в* для питания цепи накала электроннолучевой трубки С обмотки *IV* снимается напряжение —200 *в* для питания выходных усилителей отклонения луча С обмотки *V* снимается высокое напряжение —750 *в* на катод, первый анод и модулятор *ЭЛТ*, а также напряжения 850 *в* для третьего анода.

В качестве индикатора анализатора зажигания использована трубка типа 7ЛО55. Для увеличения чувствительности трубки по отклоняющим пластинам она работает при пониженных напряжениях второго и третьего анодов

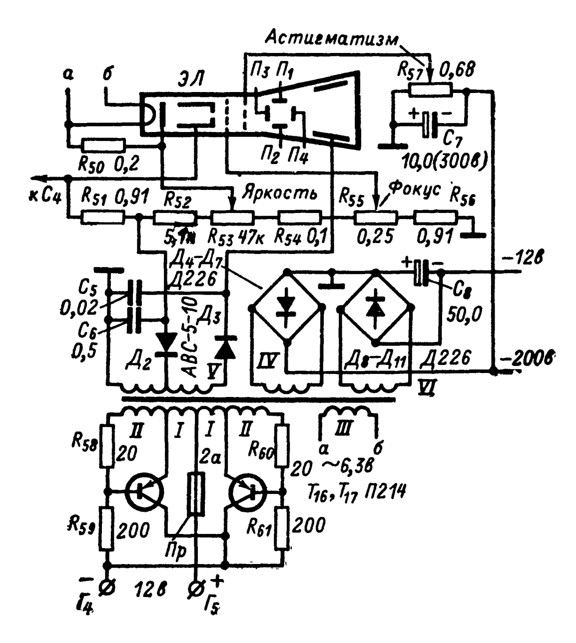


Рис. 48. Схема источника питающих напряжений.

Для нормальной работы трубки напряжения пластин и второго анода должны быть примерно равны. Так как пластины непосредственно связаны с коллекторами выходных усилителей, питающихся от источника —200 *в*, то и на второй анод напряжение подается от источника — 200 *в* через потенциометр R_{57}. Регулировка этого потенциометра в процессе настройки осциллографа позволяет устранить астигматизм.

На катод трубки подается отрицательное напряжение — 750 *в* с высоковольтного выпрямителя $Д_2$. На третий анод подается напряжение 850 *в* с высоковольтного выпрямителя $Д_3$. Резисторы R_{51}, R_{56} образуют высоковольтный делитель напряжения. Потенциометром R_{53} изменяется напряжение между катодом и модулятором, опреде-

ляющее яркость свечения трубки. Потенциометр R_{55} используется для регулировки фокусировки.

Осциллоскопический анализатор характеризуется следующими параметрами: входное сопротивление усилителя сигнала не менее 100 *ком*; полоса пропускания усилителя сигнала от 0 до 10 *кгц*; частота развертки от 4 *гц* до 3 *кгц*; шесть поддиапазонов 4—12, 12—36, 36—108, 108—324, 324—972, 972—2 916 *гц*. Напряжение питания 12 *в*; потребляемый ток 0,8 *а*.

В приборе использованы семь транзисторов общего применения типа МП42Б, девять высоковольтных транзисторов типа МП26Б и два мощных транзистора типа П214. В выпрямительных мостиках источника напряжения — 200 *в* и источника напряжения — 12 *в* используются диоды типа Д226, а в качестве высоковольтных выпрямителей $Д_2$ и $Д_3$ — выпрямитель типа АВС-5-10.

Трансформатор преобразователя выполнен на сердечнике Ш-12 из пермаллоя. Толщина набора 17 *мм*. Обмотка *I* имеет 2×22 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,44 *мм* и рассчитана на рабочий ток 0,8 *а*. Обмотка *II* состоит из 2×6 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,12 *мм*; обмотка *III* — из 24 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,5 *мм* (рассчитана на ток 0,6 *а*); обмотка *IV* — из 545 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,11 *мм*; обмотка *V* — из 2 200+300 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,5 *мм*; обмотка *VI* — из 50 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,2 *мм*.

При намотке обмоток *IV* и *V* необходимо через каждые три слоя провода прокладывать два слоя тонкой конденсаторной бумаги. Следует тщательно изолировать выводы обмоток трансформатора, особенно обмотки *III*.

Монтаж схемы прибора выполнен на четырех печатных платах: плата канала сигнала, плата развертки, плата генератора развертки и усилителя синхронизации и плата преобразователя напряжения. Органы управления выведены на переднюю стенку корпуса прибора.

Скорости развертки выбраны такими, чтобы при минимальной скорости была возможна развертка последовательности импульсов четырехцилиндрового двигателя при его работе на холостом ходу, т. е. при скорости 400 *об/мин*. При максимальной скорости развертки на экране анализатора можно наблюдать одиночный импульс зажигания при скоростях 5 000 *об/мин* для четырехцилиндрового двигателя. При промежуточных положениях переключателя *Пк* можно наблюдать все прочие случаи: от одиночного импульса при минимальных оборотах до последовательности импульсов при 5 000 *об/мин* и более.

Для удобства работы с анализатором целесообразно использовать маску, накладываемую на экран анализатора. Маской служит пластинка из органического стекла, на которую нанесены очертания импульса зажигания, характерного для нормально отрегулированной системы зажигания. После запуска исследуемого двигателя и выведения его на заданный режим с помощью переключателя *Пк* и резистора R_{48} регулировкой *скорость развертки* совмещают импульс с изображением на маске. Отклонения формы импульса от изображения на маске позволяют судить о неисправностях системы зажигания. По изображению регулируется также зазор контактов прерывателя (путем приведения времени замыкания контактов в соответствие с изображенной на маске шкалой).

ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛА ЗАМЫКАНИЯ КОНТАКТОВ ПРЕРЫВАТЕЛЯ

Одним из основных условий четкой работы системы зажигания автомобиля является правильный выбор угла, на который проворачивается кулачок прерывателя, когда контакты прерывателя замкнуты.

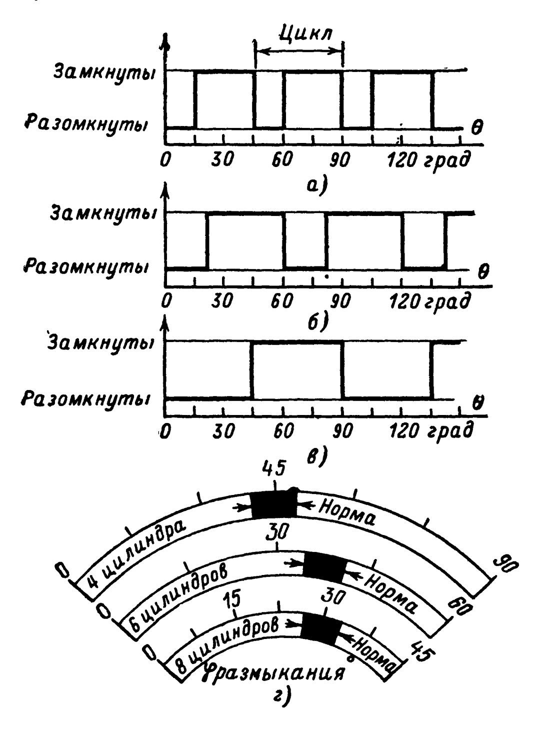


Рис. 49. Диаграммы работы контактов прерывателя восьмицилиндрового (*а*), шестицилиндрового (*б*) и четырехцилиндрового (*в*) двигателей и соответствующая им шкала прибора (*г*).

На рис. 49, *а* показана диаграмма работы контактов прерывателя восьмицилиндрового двигателя. За полный оборот вала распределителя контакты прерывателя должны быть разомкнуты 8 раз, поэтому цикл работы контактов прерывателя на одну свечу соответствует углу поворота вала распределителя, равному 45°, при этом в секторе, равном 15°, контакты прерывателя разомкнуты, а в секторе 30° — замкнуты.

Угол поворота вала распределителя, в котором контакты прерывателя разомкнуты, определяет при больших оборотах двигателя длительность искры зажигания. При уменьшении этого угла уменьшается длительность искры, что сопровождается неполным сгоранием горючей смеси и потерей мощности двигателя.

Угол поворота вала распределителя, в котором контакты прерывателя замкнуты, определяет энергию, запасенную катушкой зажигания. При уменьшении этого угла на больших оборотах вала распределителя ток в катушке зажигания не успевает нарасти до максимального значения, что сопровождается уменьшением энергии искры

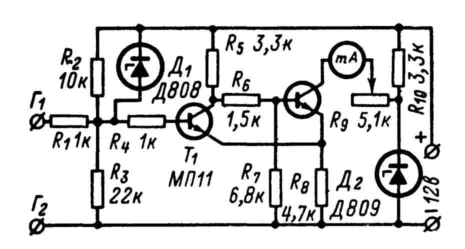


Рис. 50. Схема прибора для измерения угла замыкания контактов прерывателя.

зажигания, неполным сгоранием горючей смеси и уменьшением мощности двигателя.

Регулировка соотношения углов поворота вала распределителя, внутри которых происходит замыкание и размыкание контактов прерывателя, является основной задачей периодического обслуживания системы зажигания. Обычно эта регулировка заключается в установке необходимого зазора между контактами прерывателя при неработающем двигателе, когда контакты разомкнуты кулачком прерывателя. Однако из-за того, что поверхность контактов загрязняется и становится неровной, а также из-за грубости регулировочного винта ошибка в установке зазора между контактами прерывателя может привести к ошибке установки угла размыкания до 5°. Кроме того, за счет различной формы кулачков углы размыкания могут изменяться от цилиндра к цилиндру в работающем двигателе.

Контроль качества регулировки прерывателя при работающем двигателе можно осуществить с помощью измерительного прибора, принципиальная схема которого приведена на рис. 50. Как следует из рис. 49, при правильной регулировке зазора отношение времени, в течение которого контакты прерывателя замкнуты, ко времени, в течение которого они разомкнуты, составляет $^1/_3$ для восьмицилиндрового двигателя, $^1/_4$ для шестицилиндрового и т. д. Измерение соотношения этих интервалов и положено в основу работы прибора.

Напряжение с контактов прерывателя подается на гнезда $Г_1$ и $Г_2$. Прямоугольные импульсы через резисторы R_1 и R_4 поступают на амплитудный компаратор, собранный на транзисторах T_1 и T_2. В исходном состоянии транзистор T_1 отперт напряжением смещения, подаваемым на его базу с делителя R_2R_3. С коллекторной нагрузки R_5 транзистора T_1 через делитель R_6R_7 напряжение подается на

базу транзистора T_2. Параметры делителя R_6R_7 подобраны так, что напряжение на базе транзистора T_2 ниже, чем напряжение на его эмиттере. Транзистор T_2 заперт, и стрелка миллиамперметра, установленного в его коллекторной цепи, находится на нулевом делении.

Стабилитрон $Д_1$ предотвращает поступление на базу транзистора T_1 импульсов напряжением более 9 *в*.

При замыкании контактов прерывателя резистор R_1 включается параллельно резистору R_3, при этом напряжение смещения на базе транзистора T_1 уменьшается. Транзистор T_1 запирается, и результирующее напряжение на его коллекторе увеличивается, что приводит к отпиранию транзистора T_2. Резистор R_{10} предназначен для ограничения коллекторного тока, а с помощью переменного резистора R_9 коллекторный ток подбирается таким, чтобы он не превышал тока полного отклонения прибора. Кроме того, с помощью резистора R_{10} можно исключить влияние изменения напряжения питания прибора на результат измерения. При последующем размыкании контактов прерывателя триггер возвращается в исходное состояние.

Таким образом, при работающем двигателе триггер работает синхронно с контактами прерывателя, причем среднее значение тока, протекающего в коллекторной цепи транзистора T_2, пропорционально соотношению периодов замыкания и размыкания или зазору между контактами для двигателя с определенным числом цилиндров. Если зазор равен нулю (контакты всегда замкнуты), то средний ток наибольший. Если зазор соответствует углу размыкания 45% (для восьмицилиндрового двигателя), то средний ток равен нулю, так как контакты всегда разомкнуты. Все промежуточные значения среднего тока пропорциональны углу замыкания, поэтому миллиамперметр может быть откалиброван прямо в значениях угла замыкания контактов. Если для восьмицилиндрового двигателя полная шкала составляет 45°, то для шестицилиндрового она равна 60°, а для четырехцилиндрового двигателя — 90°.

Шкала прибора, предназначенного для измерения угла замыкания контактов прерывателя в двигателях с разным количеством цилиндров, показана на рис. 49, *г*. Так как триггер надежно переключается при перепаде входного напряжения больше 1 *в*, прибор может быть использован для работы с автомобилями, напряжение аккумулятора которых равно как 6, так и 12 *в*.

Перед измерением должна производиться калибровка прибора Для этого на прибор подают напряжение питания, замыкают накоротко его входные гнезда $Г_1$ и $Г_2$ и, поворачивая ось потенциометра R_9, устанавливают стрелку прибора на максимальное деление шкалы, соответствующее наибольшему углу замыкания. После этого выводы контактов прерывателя подключают (параллельно конденсатору зажигания) к гнездам $Г_1$ и $Г_2$ и по шкале миллиамперметра производят отсчет угла замыкания контактов.

1. Параметры некоторых катушек зажигания

Тип катушки	Устанавливается на автомобиле	Вторичная обмотка		Первичная обмотка			Вариатор	
		Провод	Число витков	Провод	Число витков	Сопротивление, *ом*	Материал провода	Сопротивление, *ом*
Б-1	ГАЗ-53Ф ЗИЛ-164 ГАЗ-51А	ПЭЛ 0,1	19 000	ПЭЛ 0,72	330	1,95	Сталь	1,5—1,35
Б-1, малогабаритная	«Победа М-20» «Москвич-407» ЗИЛ-158 «Волга М-21»	ПЭЛ 0,09	17 500	ПЭЛ 0,77	320	—	Никель	1,35—1,45
Б-13, маслонаполненная	ЗИЛ-130 ЗИЛ-111 ГАЗ-53 ГАЗ-66	ПЭЛ 0,07	26 000	ПЭЛ 0,72	270	1,5	Никель	1,0—1,1
Б-102Б, маслонаполненная	ЗИЛ-131 «Урал-375»	ПЭВ 0,07	18 000	ПЭВ 0,86	290	—	Константан	—
Б-114, маслонаполненная	—	—	41 500	—	180—190	0,4	Константан	0,52—0,52

2. Кремниевые переключающие управляемые диоды (тиристоры) типов КУ201 и КУ202

Типы управляемых диодов		Предельное прямое напряжение, *в*	Предельное обратное напряжение, *в*
Новое обозначение	Старое обозначение		
КУ201А	УД63А	25	Не нормируется
КУ201Б	УД63Б	25	25
КУ201В	УД63В	50	Не нормируется
КУ201Г	УД63Г	50	50
КУ201Д	УД63Д	100	Не нормируется
КУ201Е	УД633	100	100
КУ201Ж	УД63Е	200	Не нормируется
КУ201И	УД63И	200	200
КУ201К	УД63Ж	300	Не нормируется
КУ201Л	УД63К	300	300
КУ202А	УД64А	25	Не нормируется
КУ202Б	УД64Б	25	25
КУ202В	УД64В	50	Не нормируется
КУ202Г	УД64В	50	25
КУ202Д	УД64Д	100	Не нормируется
КУ202Е	УД64Е	100	25
КУ202Ж	УД64Ж	200	Не нормируется
КУ202И	УД64И	200	25
КУ202К	УД64К	300	Не нормируется
КУ202Л	УД64Л	300	25
КУ202М	УД64М	400	Не нормируется
КУ202Н	УД64Н	400	25

Параметры тиристоров	КУ201А—Л	КУ202А—Н
Напряжение спрямления, *в* (не более)	7 *в*	5 *в*
Ток спрямления, *ма* (не более)	100 *ма*	100 *ма*
Остаточное напряжение (не более)	2,5 *в*	2 *в*
Ток выключения (не более)	100 *ма*	300 *ма*
Время включения (не более)	10 *мксек*	50 *мксек*
Время выключения (не более)	35 *мксек*	150 *мксек*
Наибольший средний прямой ток	2 *а*	10 *а*
Наибольшая амплитуда импульса прямого тока:		
при длительности импульса 10 *мксек*	10 *а*	30 *а*
при длительности импульса 50 *мксек*	30 *а*	50 *а*
наибольшая рассеиваемая мощность	4 *вт*	10 *вт*
Максимальная температура корпуса	+100°С	+70°С
Минимальная температура окружающей среды	—60°С	—60°С
Срок службы	5 000 *ч*	5 000 *ч*

Распределители	Устанавливается на автомобилях	Направление вращения	Раствор контактов прерывателя, *мм*	Напряжение пружины прерывателя, *Г*	Угол замкнутого состояния контактов прерывателя, *град*	Чередование искр, *град*	Колич. размыканий контактов за один оборот вала распределителя	Максимальное число бесперебойного искрообразования, *об/мин*	Емкость конденсатора, *мкф*	Регулировка опережения центробежным автоматом (по валу распределителя): в интервале, *об/мин*	Регулировка опережения центробежным автоматом (по валу распределителя): опережение, *град*	Регулировка опережения вакуумным автоматом (по валу распределителя): в интервале разряжений, *мм. рт. ст.*	Регулировка опережения вакуумным автоматом (по валу распределителя): опережение, *град*	Вес, *кг*
Р35-В	ЗАЗ-965 «Запорожец»	Левое	0,35—0,45	400—600	46—50	90±1	4	2 000	0,17—0,25	500—2 000	2—19	100—265	0—6,5	1,13
Р114	ЗАЗ-966 «Запорожец»	То же	0,35—0,45	400—600	46—50	90±1	4	2 000	0,17—0,25	500—2 000	0—19	100—265	0—6,5	1,50
Р35-Б	«Москвич» моделей 402, 410, 423	» »	0,35—0,45	400—600	46—50	90±1	4	2 200	0,17—0,25	500—2 000	0—10	100—300	0,6	1,54
Р35-А	«Москвич-407» «Москвич-410Н»	» »	0,35—0,45	400—600	46—50	90±1	4	2 200	0,17—0,25	500—2 200	0—19	100—300	0,8	1,48
Р107	«Москвич-408»	» »	0,35—0,45	400—600	46—50	90±1	4	2 400	0,17—0,25	500—2 000	0—19	80—300	0—10	1,58
Р-23	ГАЗ-20 «Победа», ГАЗ-46, ГАЗ-72, ГАЗ-69	Правое	0,35—0,45	400—600	46—50	90±1	4	1 900	0,17—0,25	300—1 900	0—9	100—320	0—7	2,16
Р3-Б	ГАЗ-21 «Волга» ГАЗ-22, ГАЗ-56, УАЗ-451	Левое	0,35—0,45	500—700	46—50	90±1	4	2 200	0,17—0,25	200—2 200	0—20	60—280	0—13	2,55
Р20-Б	ГАЗ-12 «Зим»	Правое	0,35—0,45	400—600	38—42	60±1	6	1 900	0,17—0,25	300—1 900	0—13	160—400	1—12	2,15
Р13	ГАЗ-13 «Чайка», ГАЗ-23, ГАЗ-53, КАВЗ-987	То же	0,30—0,40	350—650	28—32	45±1	8	2 500	0,25—0,35	200—2 500	0—16	80—440	0—9,5	2,50
Р4	ЗИЛ-111	» »	0,30—0,40	350—650	28—32	45±1	8	2 500	0,25—0,35	500—2 500	3—14,5	100—350	0—6	2,30
Р23-Б	ГАЗ-21Б, ГАЗ-50, ГАЗ-69М, УАЗ-450	» »	0,35—0,45	400—600	46—50	90±1	4	2 200	0,17—0,25	300—2 200	0—9	100—320	0—7	2,26
Р20	ГАЗ-47, ГАЗ-51, ГАЗ-63	» »	0,35—0,45	400—600	38—42	60±1	6	1 900	0,17—0,25	300—1 900	0—13	160—400	1—12	2,15
Р53	ГАЗ-69Э													
Р536	ГАЗ-69МЭ, ММЗ-574, УАЗ-915	Правое	0,35—0,45	400—600	46—50	90±1	4	1 900	0,17—0,25	300—1 900	0—9	100—320	0—7	2,70

ЛИТЕРАТУРА

1. Глезер Г. Н., Опарин И. М., Хейман Э. Л. Электронные системы зажигания автомобилей. М., «Машиностроение», 1967.
2. Леонтьев В. Ф. Зарубежные транзисторы широкого применения. М., «Энергия», 1969.
3. Журавлев А. А., Мазель К. Б. Преобразователи постоянного напряжения на транзисторах. Изд. 2-е. М., «Энергия», 1965.
4. Гурлев Д. С. Справочник по электронным приборам. Изд. 4-е. Киев, «Техника», 1966
5. Сонин Е. К. Электронная система зажигания для «Вихря». — «Катера и яхты», 1969, № 1.
6. Коссов О. А. Усилители мощности на транзисторах в режиме переключения. М., «Энергия», 1964.
7. Новая система зажигания для автомобилей. — «Электроника», 1966, № 10.
8. Перепелов С. Низкочастотный осциллограф. — «Радио», 1968, № 10.
9. Левит В. Л. и др. Бесконтактная электронная система зажигания. — «Катера и яхты», 1970, № 1/3.
10. Шир. Уменьшение потребляемого тока в автомобильных системах зажигания. — «Электроника», 1968, № 11.
11. Электрооборудование автомобилей. ГНИИАТ. М., «Транспорт», 1968.
12. Галкин Ю. М. Электрооборудование автомобилей и тракторов. М., «Машиностроение», 1968.
13. Балагуров В. А. Аппараты зажигания, М., «Машиностроение», 1968.
14. Ильин Н. М. Электрооборудование автомобилей. М., «Транспорт», 1967.
15. Хаутен, Швейцер. Новая система зажигания для автомобилей. — «Электроника», 1964, № 26.
16. Мартыненко Н. Электроника в системах зажигания автомобильных двигателей. — «Радио», 1967, № 1, № 2.
17. Андреев В., Эрнер В., Мельников Л. Многоискровая система зажигания. — «Радио», 1967, № 12.
18. Синельников А. Х. Электроника в автомобиле. М., «Энергия», 1969
19. Вардашкин А. Пусковая система зажигания. — «Радио», 1969, № 4.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Цена 23 коп.